



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

TRABAJO FINAL DE GRADO

“AGENTES HUMECTANTES EN DISOLUCIONES DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN PARA LENTES DE CONTACTO RPG”



KARINA ANNABEL SORNOZA MORÁN

DIRECTOR/A:
JOAN TORRENT BURGÚÉS / ESTER GUAUS GUERRERO
DEPARTAMENTO: Departamento de Ingeniería Química

FECHA DE LECTURA: 26/01/2017



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

Los Sres. Joan Torrent Burgués y Ester Guaus Guerrero como tutores y directores del trabajo,

CERTIFICAN

Que el Sr./Sra. Karina Annabel Sornoza Morán ha realizado bajo su supervisión el trabajo Agentes humectantes en disoluciones de mantenimiento y conservación para lentes de contacto RPG que se recoge en esta memoria para optar al título de grado en Óptica y Optometría.

Y para que conste, firmo/firmamos este certificado.

Sr/a

Sr/a

Director/a del TFM

Director/a del TFM

Terrassa, 26 de Enero de 2017



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRIA

“AGENTES HUMECTANTES EN DISOLUCIONES DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN PARA LENTES DE CONTACTO RPG”

RESUMEN

El objetivo principal del presente estudio es conocer la influencia de los agentes humectantes en las disoluciones para el mantenimiento y conservación de lentes de contacto rígidas permeables a los gases (RPG).

A partir de la información recopilada de disoluciones de mantenimiento y conservación para lentes RPG presentes en el mercado, se preparan diferentes disoluciones con tres tipos de agentes tensioactivos de acción humectante y viscosante. Como disolvente se utiliza una disolución salina tamponada con fosfato (PBS) con valores de osmolaridad y pH parecidos a la lágrima. La acción de los agentes tensioactivos se estudia en función de las siguientes propiedades: densidad, pH, salinidad, tensión superficial, viscosidad y ángulo de contacto.

Los resultados muestran, que la densidad y la viscosidad de las disoluciones aumentan con la concentración del agente tensioactivo. La tensión superficial y el ángulo de contacto disminuyen al aumentar la concentración para la hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) y el alcohol polivinílico (PVA) mientras que para la hidroxietilcelulosa (HEC) aumenta ligeramente. En cuanto a la salinidad y pH observamos que no existe relación con la concentración ya que estos dependen de la disolución de PBS inicial.

Se ha observado que la HPMC es el agente tensioactivo que realiza una mejor acción humectante sobre la lente RPG al disminuir más el ángulo de contacto a igual concentración. Es por eso que está presente en la mayoría de las disoluciones comerciales para lentes RPG.



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRÍA

“AGENTS HUMECTANTS EN DISSOLUCIONS DE MANTENIMENT I CONSERVACIÓ PER A LENTS DE CONTACTE RPG”

RESUM

L' objectiu principal d'aquest estudi és conèixer la influència dels agents humectants en les dissolucions per al manteniment i conservació de lents de contacte rígides permeables als gasos (RPG).

A partir de la informació recopilada de dissolucions de manteniment i conservació per a lents RPG presents al mercat, es preparen diferents dissolucions amb tres tipus d'agents tensioactiu d'acció humectant i viscosante, . Com a dissolvent s'utilitza una dissolució salina tamponada amb fosfat (PBS) amb valors d'osmolaritat i pH semblants a la llàgrima. L'acció dels agents tensioactius s'estudia en funció de les següents propietats: densitat, pH, salinitat, tensió superficial, viscositat i angle de contacte.

Els resultats mostren, que la densitat i la viscositat de les dissolucions augmenten amb la concentració de l'agent tensioactiu. La tensió superficial i l'angle de contacte disminueixen en augmentar la concentració per a la hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) i l'alcohol polivinílic (PVA) mentre que per a la hidroxietilcelulosa (HEC) augmenta lleugerament. Pel que fa a la salinitat i pH observem que no existeix relació amb la concentració ja que aquets depenen de la dissolució de PBS inicial.

S'ha observat que la HPMC és l'agent tensioactiu que realitza una millor acció humectant sobre la lent RPG en disminuir més l'angle de contacte a igual concentració. És per això que està present en la majoria de les dissolucions comercials per a lents RPG.



DEGREE IN OPTICS AND OPTOMETRY

“WETTING AGENTS IN MAINTENANCE AND CONSERVATION SOLUTIONS FOR CONTACT LENS RPG”

ABSTRACT

The main objective of the present study is to know the influence of the wetting agents in maintenance and conservation solution for contact lenses of RPG.

From the information gathered from maintenance and conservation solutions for lenses RPG available on the market, different solutions were prepared with three types of surfactant agents with wetting and viscosity action. A phosphate buffered saline solution (PBS) was used as solvent with osmolarity and pH similar to that of the tear. The action of surfactant agents is studied measuring the following properties: density, pH, salinity, surface tension, viscosity and contact angle.

The results show that the density and viscosity of solutions increase with the concentration of surfactant agent. The surface tension and the contact angle decrease when the concentration increases for the hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) and polyvinylalcohol (PVA), whereas they increase slightly with the concentration increase for the hydroxyethylcellulose (HEC). In terms of salinity and pH, there is not relationship with the concentration since these depend on the initial PBS.

We noted that the HPMC is the surfactant agent that presents better wetting action on the lenses RPG because a higher decreasing of contact angle is obtained at equal concentration. Therefore, it is present in most commercial solutions for RPG lenses.

SUMMARY

Contact lenses are devices that are in direct contact with the cornea, an alternative not only aesthetic but also technique to correct refractive errors such as myopia, hyperopia, astigmatism and presbyopia, achieving a better vision in peripheral areas. Large numbers of people around the world use contact lenses according to their style of life, motivation and vision needs.

Their first versions were made of a hard and rigid polymer polymethylmethacrylate (PMMA), which eventually became obsolete by the appearance of new materials. Now two large groups of contact lenses are considered: the contact lenses rigid or semi-rigid permeable to gases (RPG) and hydrogel contact lenses (LCH).

The objective of this study is to investigate the types of solutions of maintenance and conservation of contact lenses that exist in the market, to know the composition of these dissolutions and to evaluate the behavior of wetting agents from trials chemicals. We focus the study on solutions for gas permeable rigid materials.

One of the main features of RPG lenses materials is its rigidity. Among the benefits that brings such hardness are a good optical quality, an optimal correction of anterior corneal astigmatism and the permeability to oxygen, that is to say, allows one supply of oxygen to the cornea, which prevents changes in corneal physiology. The back face of rigid contact lens is designed to follow the contour of the cornea, and thanks to the tear meniscus between the back of the lens and the cornea, they are ideal for treating corneal irregularities. Also, is a good alternative for Keratoconus, corneal trauma, use after laser surgery and/or keratoplasty.

Among the inconveniences caused by this characteristic of the material is, a greater initial discomfort and, consequently, a longer adaptation period. This discomfort is related by the rigidity of the material, proteins and lipid deposits, surface wettability, presence of stains in the cornea and tear film osmolarity.

To improve the disadvantages is necessary the use of maintenance solutions to keep them in good condition, disinfect them and condition them for use as they are:

- cleaning agents; to eliminate the deposits of the lenses of contact.
- solutions disinfectant; keep the lens hydrated and avoid that, to the dry is, is to form deposits.
- moisturizing people; they act on the surface of the lens.

Next, we focus on agents humectants to RPG contact lenses since they are intended to act on the surface of the lens, forming a viscous film that improves the surface wettability of contact lenses, rigid gas permeable (RPG). These agents usually have a low surface tension. Several roles as it is:

- Get that the surfaces of the lenses are less hydrophobic improving its surface wettability and thus reducing the sensation of a foreign body when they are on the eye.
- Form a film on the surface, avoiding any dirt or grease from fingers that manipulate lenses can be transferred to their surfaces.
- Lubricate the surfaces of the lenses to avoid friction with the tarsal conjunctiva and corneal surface.
- Clean the lens when it is removed from the eye.
- Prevent the growth of microorganisms.
- Facilitates the placement and removal of the lens of the eye.

The degree of humidification is defined by the balance between adhesive and cohesive forces acting on the surface of a lens and is determined by measuring the contact angle; the smaller the largest contact angle will be the wettability. There are several methods that can be used to determine the angle of contact: Wilhelmy, captive bubble plate and sessile drop. This study was carried out comparisons for two types of materials: the polymethylmethacrylate (PMMA), which was first rigid material currently unused by its zero permeability to oxygen and RPG (Boston 7 - Atafcon A).

Research of solutions available in the market

Considering the solutions of maintenance and conservation for RPG contact lenses on the Spanish market, a study of the compositions of the following products is made (also should be noted that contact lenses manufacturers recommend their products for the cleaning, maintenance and care of each contact lens to ensure a good traceability).

- See conservative of laboratory Eurolent.
- Hydro I health RGP2 State Disop S.A
- Menicare plus lab Menicon
- Moisturizing laboratory Hefilcon Lenticon S.A.
- Boston SimPlus of laboratory Basuch & Lomb
- Veralent moisturizing GP of laboratory Interlenco S. A

- Durasol curator of laboratory Disop, S. A.
- Boston advance conditioning of laboratory Basuch & Lomb Conòptica
- Concare laboratory cooling solution Oté Pharma
- Concare laboratory cleaning solution Oté Pharma
- WØHLK CHILD lab Eurolent
- Cleaner professional laboratory Boston Basuch & Lomb
- TotalCare solution laboratory Abbott medical optics

Of which we find the following surfactants (wetting agents and viscosity):

- Poloxamer
- Hidroxipropilmetil cellulose (HPMC)
- Polyvinylpyrrolidone (PVP)
- Hidroxietil cellulose (HEC)
- Hidroxialquilfosfonato (HYDRANATE)
- Glucam
- Derivative of polyethylene glycol
- Alcohol (PVA) poly
- Cellulosic viscosity

Characteristics of the wetting agents

From the information gathered on the composition of various solutions of maintenance and conservation for RPG contact lenses, the wetting agents studied were:

The hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) is a semi-synthetic polymer viscoelastic and inert. Used as hanger and thickener, eye drops and tears, agent and as a wetting agent in rigid LC maintenance solutions.

Hydroxyethylcellulose (HEC) is a used buffering agent to give higher viscosity to the wetting solution.

Polyvinyl alcohol (PVA) which is a synthetic polymer that adheres to the surface of a lens RPG; It has a very low degree of viscosity and is used also as a suspension and emulsifying agent. It has a low viscosity, in such a way that their absorptive and adhesive properties longer wetting solution.

Preparation of solutions

For the study, a solution was prepared in the laboratory that mimics the saline composition of tear aqueous layer (98.2% water, 1.8% solids, mostly Cl^- , Na^+ , K^+ with a pH of 7.2-7.7 range, being the optimal 7.4).

The medium used was of phosphate buffered saline solution (PBS). It is isotonic with the tears, non-toxic solution with a pH of 7.4. The PBS solution was prepared using ultra-pure water "MilliQ" as solvent and as solutes: sodium chloride (NaCl), hydrogen sodium phosphate ($\text{H}_2\text{NaO}_4\text{P}\cdot\text{H}_2\text{O}$) and sodium hydroxide (NaOH).

From this PBS solution, the different solutions of the HPMC, HEC and PVA surfactant agents were prepared, for concentrations ranging between 0.01 - 0.50% (w/v).

Measures of physicochemical properties

The action of surfactants is studied on the basis of the following properties:

- Density: obtained from a very precise method, pycnometer of liquid. Firstly, the actual volume of the pycnometer is determined, and then the density of the study solutions is known by weighing.
- pH: made from an electrochemical method, using the pH meter CRISTON, which consists of measuring the potential that develops through the electrode when it is submerged in a substance.
- Salinity: determined starting from the concentration of NaCl in solutions aqueous by means of the refractometer.
- Surface tension: using the method of Wilhelmy plate which consists of measuring the force required to remove a plaque from the surface of a liquid.
- Viscosity: determined by means of the Viscoball (dynamic viscosity), that is based on the timing needed for a solid sphere to travel a distance between two points.
- Contact angle. Determined by the measurement of the contact angle between the substrate and a drop of liquid, by means of the sessile drop technique and using an image digitization "Motic Images Plus 2.0" and "ImageJ" software.

Results

The density depends on the concentration, that is, the density increases slightly with the increases of the concentration of the surfactant agents studied.

Salinity and pH do not depend on surfactant agents concentration, they depend on the concentration of salts and the pH of the initial PBS solution, respectively.

For all the studied solutions, viscosity increases as the concentration of surfactant increases. The increase tends to be lineal at low concentrations and becomes exponential at high concentration, The HEC solutions present the is most notorious increase.

HPMC, HEC and PVA solutions present surfactant action since its surface tension is lower than that of the PBS. In the case of HPMC and PVA when the concentration increases the surface tension decreases. For HEC the surface tension increases slightly with increasing concentration in the range studied.

On the other hand, the contact angle behaves in the same way as the surface tension. In the case of HPMC and PVA the contact angle decreases with increasing concentration, instead the HEC that behaves inversely to the formers.

Of all the surfactants studied, the HPMC is the surfactant which performs best wetting action, ~~to~~ decreasing more the angle of contact at equal concentration.



AGRADECIMIENTOS

- Al departamento de Ingeniería Química por facilitarme trabajar en el laboratorio de recerca.
- A mis tutores de este TFG, Joan Torrent y Ester Guaus, por su disposición y dedicación.
- A mi pareja y familia por el apoyo constante.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1. Introducción | 1 |
| 2. Objetivos | 2 |
| 3. Marco teórico | 3 |
| 3.1 Las lentes de contacto | 3 |
| 3.1.1. Propiedades de los materiales para lentes de contacto | 3 |
| 3.1.2. Relación de las lentes de contacto con la película lagrimal | 6 |
| 3.1.3. Clasificación de las lentes de contacto | 7 |
| 3.2 Lentes de contacto rígidas permeables al gas | 8 |
| 3.2.1. Características de las lentes rígidas permeables al gas | |
| 3.2.2. Ventajas de las lentes de contacto rígidas permeables al gas respecto a las LC hidrogel | 8 |
| 3.3 Fabricación de LC RPG en España | 10 |
| 3.4 Soluciones comerciales de mantenimiento para LC RPG | 12 |
| 3.5 Características de los agentes tensioactivos para LC RPG | 15 |
| 4. Material | 20 |
| 4.1 Preparación del PBS | 20 |
| 4.2 Preparación de agentes humectantes | 21 |
| 4.3 Sustratos utilizados para la medida del ángulo de contacto | 24 |
| 5. Metodología experimental | 25 |
| 5.1 Determinación del pH | 25 |
| 5.2 Determinación de la densidad | 26 |
| 5.3 Determinación de la salinidad | 28 |
| 5.4 Determinación de la viscosidad | 29 |
| 5.5 Determinación de la tensión superficial | 31 |
| 5.6 Determinación del ángulo de contacto | 32 |
| 6. Resultados y discusión de los resultados | 34 |
| 7. Tabla resumen de los resultados obtenidos | 44 |
| 8. Conclusiones | 45 |
| 9. Bibliografía | 47 |
| 10. Anexo | 49 |

1. Introducció

Las lentes de contacto han ido evolucionando desde el año 1508 donde Leonardo da Vinci describe la simulación de la primera lente de contacto, al observar que hundiendo la cabeza en un recipiente de cristal con agua se modificaba la visión. A medida que los años avanzan diferentes investigadores como René Descartes, F.A. Müller, Adolfo Eugen Fick, entre otros, perfeccionan esta antigua teoría hasta lo que hoy conocemos como lentes de contacto. [1]

Esta evolución conllevó a la aparición de nuevos materiales para compensar problemas refractivos como la miopía, hipermetropía, astigmatismo y otras condiciones visuales; aportando continuamente mayores ventajas y beneficios como puede ser un campo visual total, mejor flexibilidad y máxima comodidad.

Para el uso de las lentes de contacto se hizo imprescindible el empleo de unas soluciones de mantenimiento para conservarlas en buen estado, desinfectarlas y acondicionarlas para su uso, ya que estas son insertadas directamente en la película lagrimal y actúan en contacto directo con la córnea.

La presencia de depósitos, los riesgos de contaminación y la necesidad de humectación justifican la existencia de productos específicos destinados al mantenimiento de las lentes de contacto. Estos productos se agrupan en diferentes categorías: agentes limpiadores; soluciones desinfectantes; soluciones salinas de aclarado y almacenamiento; y, agentes humectantes y lubricantes.

En este trabajo nos centraremos en el estudio de los agentes humectantes para lentes de contacto rígidas, ya que cumplen varios papeles importantes como convertir la superficie hidrofóbica en hidrofílica, para ser recubierta mejor por la película lagrimal y mejorar su tolerancia. Además, proporciona una cubierta protectora sobre la lente, evita su contaminación por lípidos y lubricar la córnea en el momento de la inserción de la lente. Para ello recopilamos información sobre los agentes humectantes/ conservantes presentes en las diferentes disoluciones de mantenimiento y conservación para LC RPG que existen en el mercado, con el fin de conocer la concentración, solubilidad, rango de estabilidad de pH de cada agente.

Una vez estudiado estas características prepararemos in vitro disoluciones con componentes tensioactivos para realizar ensayos físico-químicos (tensión superficial, salinidad, viscosidad, pH, densidad y ángulo de contacto) a diferentes

concentraciones y así finalmente conocer su comportamiento como agentes humectantes y las ventajas que le otorgan a las LC RPG.

2. Objetivos

El objetivo del presente trabajo es:

- Conocer los tipos de disoluciones de mantenimiento para lentes de contacto RPG que existe actualmente en el mercado.
- Recopilar información sobre la composición de dichas disoluciones.
- Investigar la naturaleza de los agentes tensioactivos / humectantes en las disoluciones de mantenimiento.
- Preparar in vitro disoluciones de HPMC, HEC y PVA en diferentes concentraciones.
- Aprender técnicas para determinar las propiedades físico-químicas de las disoluciones preparadas (pH, densidad, salinidad, viscosidad, tensión superficial, ángulo de contacto).
- Conocer el comportamiento de los agentes humectantes/ tensioactivos a partir de los resultados fisicoquímicos obtenidos.
- Analizar las ventajas que confiere dichos agentes a lentes de contacto RPG.

3. Marco teórico

3.1. Las lentes de contacto

Las Lentes de contacto, así como las lentes oftálmicas son sistemas ópticos que se utilizan para corregir defectos refractivos. A diferencia de éstas las LC garantizan una mejor visión en las zonas periféricas.

3.1.1 Propiedades de los materiales para lentes de contacto

A parte de proporcionar una mejor visión, toda LC tiene que cumplir unos requisitos en cuanto a propiedades para no maltratar la córnea y no intervenir en su metabolismo como es:

- Permeabilidad al Oxígeno (Dk)

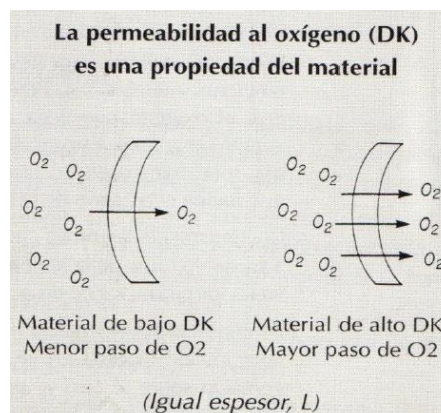


Figura 3.1. Esquema de la permeabilidad al oxígeno de una lente de contacto. [12]

Es una propiedad intrínseca del material y no de la lente de contacto. Se define como la cantidad de oxígeno que pasa a través de un material, durante un tiempo determinado.

Viene expresado por Dk, donde el coeficiente de difusión (D) mide la cantidad de oxígeno que pasa a través de la unidad de área del material en una dirección dada, durante un segundo (cm^2/seg) y el coeficiente de solubilidad (k) mide la cantidad de moléculas de oxígeno que pueden ser disueltas en un material a presión de 760 mm Hg y a 25°C ($\text{ml O}_2/(\text{ml} \cdot \text{mm Hg})$).

Si el Dk es menos de 20, la permeabilidad es baja; si se encuentra entre 20-49 es alta y si supera los 100 es muy alta. Un valor medio de Dk tiene características óptimas.

- Transmisibilidad al oxígeno (Dk/t)

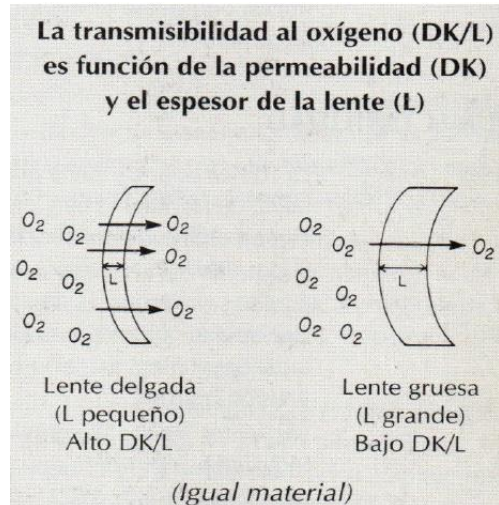


Figura 3.2. Esquema de la transmisibilidad al oxígeno de una lente de contacto. [12]

Es el parámetro que determina realmente la cantidad de oxígeno que pasa de la lente de contacto a córnea. La transmisibilidad al oxígeno depende del Dk del material y de su espesor (Dk/L). Expresado por $(\text{cm/s}) \cdot (\text{ml O}_2 / (\text{mL} \cdot \text{mm Hg}))$. Si el material es más delgado la cantidad de oxígeno que pasa es mayor.



Figura 3.3. Esquema comparativo de la transmisibilidad al oxígeno en diferentes materiales. [12]

La fisiología es mejor con lentes RPG principalmente porque no cubre toda la córnea permitiendo un flujo de lágrima constante bajo la lente, la cual se renueva con cada parpadeo. Esto produce menos complicaciones corneales y conjuntivales (RPG más alto).

- **Hidratación o contenido en agua (WC)**

El porcentaje de hidratación (WC) es la cantidad de agua que puede absorber un material. Depende de la temperatura, del pH y de la presión osmótica.

Los materiales se pueden dividir en [12]:

Lentes rígidas o semirrígidas que absorben poca cantidad de agua desde 0,1-5%.

Hidrogeles que absorben por encima de un 20% (lentes blandas de alto o bajo contenido en agua).

- **Humectabilidad y ángulo de contacto**

El grado de humectación se determina por un equilibrio entre las fuerzas adhesivas y cohesivas que actúan sobre la superficie de una lente. [5] Además de la estructura química también depende de la calidad, cantidad de la lágrima y del parpadeo del portador de la lente. Esta propiedad se define por el ángulo de contacto de una gota depositada en la superficie de la LC (cuanto menor sea el ángulo de contacto mayor será la humectabilidad y por tanto más hidrofílico será el material). Si el ángulo de contacto es mayor a 90° el material se considera hidrofóbico.

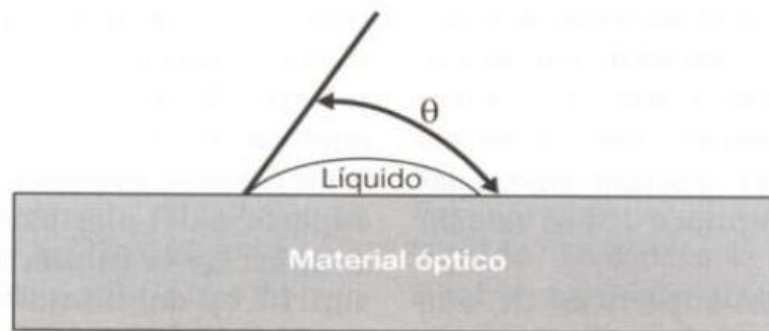


Figura 3.4. Ángulo de contacto de un líquido sobre una superficie sólida. [1]

3.1.2 Relación de las lentes de contacto con la película lagrimal.

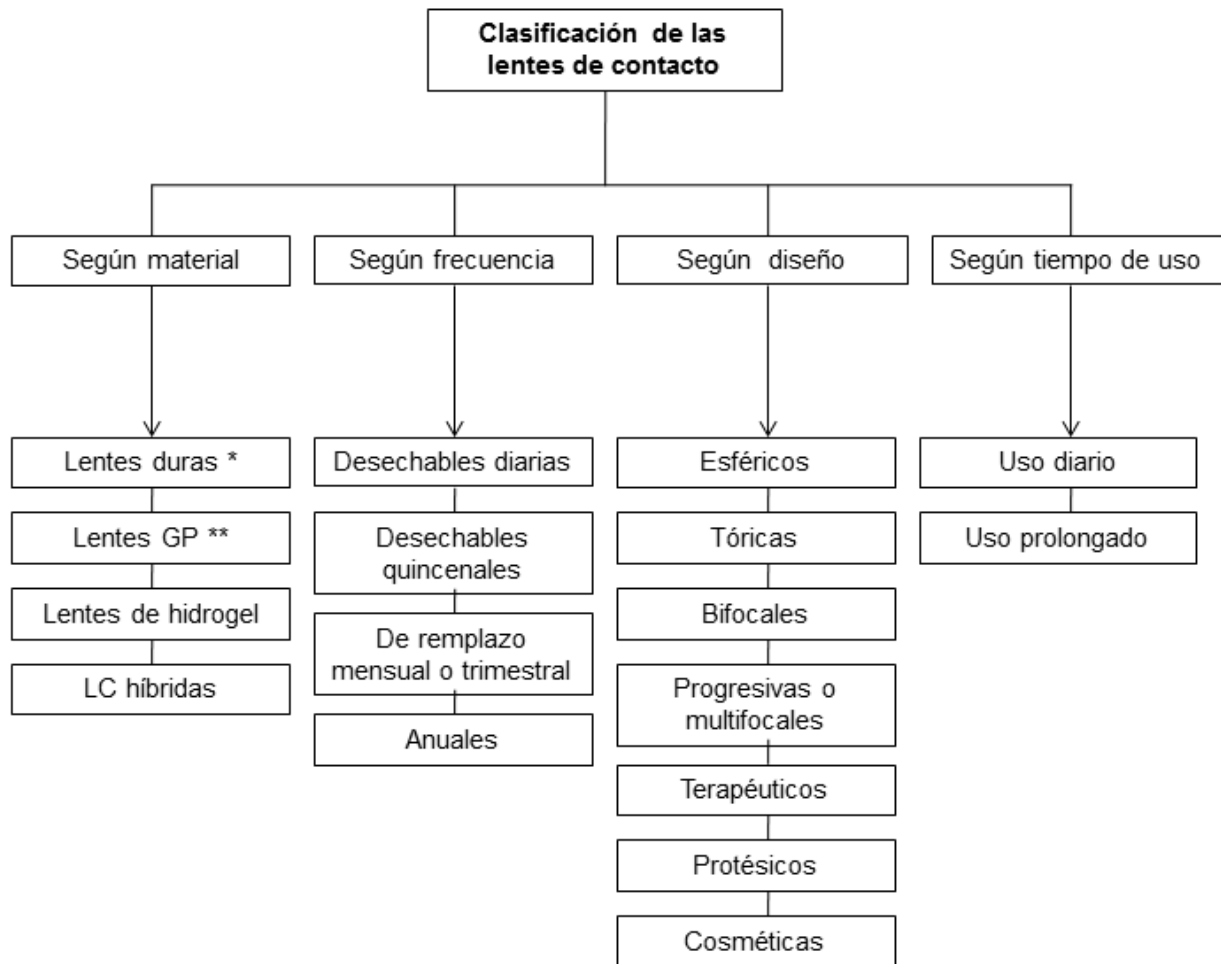
Así como es de vital importancia los requisitos de la lente de contacto, también lo es garantizar que haya un buen intercambio lagrimal ya que este facilita la reposición continua de fluido entre la superficie ocular y las lentes de contacto.

Hay que tener en cuenta que la presión osmótica es sensible a los cambios del flujo lagrimal. La estimulación refleja de las lágrimas durante la adaptación inicial a las lentes de contacto determina una disminución de los electrolitos y las proteínas totales, lo que provoca hipotonicidad. Esta hipotonicidad relativa puede explicar el edema de córnea que suele observarse en las primeras etapas del uso de las lentes de contacto. Por ello es necesario tener en cuenta la composición de la película lagrimal:

Tabla 3.1. Composición de la lágrima.

| Composición de la lágrima | |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| Propiedades físicas | |
| pH | 7,4 (7,2-7,7) |
| Presión osmótica | 305mOsm/kg. Equiv. NaCl 0,95% |
| Índice de refracción | 1,357 |
| Propiedades químicas | |
| Composición general de la lágrima | |
| Agua | 98,2g/100 mL |
| Sólidos (total) | 1,8 g/ 100 mL |
| Electrolitos | |
| Sodio | 120-170 m mol/L |
| Potasio | 26-42 m mol/L |
| Calcio | 0,3-2,0 m mol/L |
| Magnesio | 0,5-1,1 m mol/L |
| Cloruro | 120-135 m mol/L |
| Bicarbonato | 26 m mol/L |
| Otros | |
| Proteínas totales | 0,668-0,800 g/100mL |
| Nitrógeno total | 158mg/100mL |
| Glucosa | 2.5 mg/100 mL |
| Colesterol | 8-32 mg /100 mL |
| Aminoácidos | 7,58 mg /100 mL |
| Lisozima | 1-2 mg /100 mL |
| Ácido cítrico | 0,6 mg /100 mL |
| Ácido ascórbico | 0,14 mg /100 mL |
| Ácido láctico | 1-5 m mol /L |

3.1.3 Clasificación de las lentes de contacto.



Esquema 3.1. Clasificación de las lentes de contacto. [4] [6]

(*) (**) Sustratos utilizados para la medición del ángulo de contacto en este estudio.

Según el material en la actualidad se suele hablar de dos grandes grupos: las lentes de contacto permeables al gas o semirrígidas (LCRPG) y las lentes de hidrogel (LCH). Dentro de las principales características de las RPG se encuentra la rigidez y la permeabilidad al oxígeno y en cuanto las LCH están la comodidad y la flexibilidad. [7]

En la tabla 3.2. se comparan algunos factores característicos de los dos tipos principales de lentes de contacto.

Tabla 3.2. Tabla comparativa de las características de lentes de contacto de hidrogel y rígida.

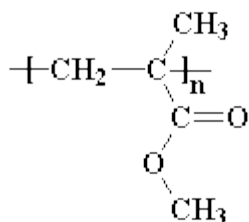
| Características | Hidrogel | Rígida |
|---|----------|--------|
| Tiempo de adaptación | Menor | Mayor |
| Comodidad desde el principio | Mayor | Menor |
| Tendencia a los depósitos | Mayor | Menor |
| Índice de complicaciones | Mayor | Menor |
| Calidad de visión | Menor | Mayor |
| Adecuada para realizar algunos deportes | Mayor | Menor |

A continuación, nos centraremos y desarrollaremos ampliamente todo lo referente a las lentes de contacto rígidas permeables a los gases o semirrígidas (LCRPG), ya que son el tipo de lentes de contacto que se refieren al presente trabajo.

3.2. Lentes de contacto rígidas permeables al gas

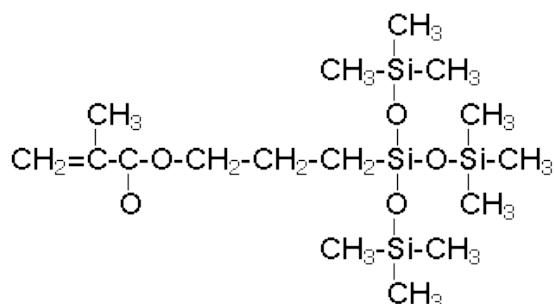
3.2.1. Características de las lentes rígidas permeables al gas

Dentro de las LC rígidas se encuentran los rígidos propiamente dichos, formado por polimetilmetacrilato "PMMA" (Fórmula 3.1), pero con excelente calidad óptica, actualmente en desuso por su impermeabilidad al oxígeno, ya que carece de zonas libres por donde podrían pasar las moléculas de los gases produciendo complicaciones hipoxicas.



Fórmula 3.1. Polimetilmetacrilato

Por el contrario, los polímeros de las lentes RPG, formado por un copolimero de un metacrilato de alquilsiloxano (metacriloxipropil tis(trimetilsiloxy)silano "TRIS" (Fórmula 3.2), con radicales relativamente voluminosos que impiden su empaquetamiento, tiene zonas libres entre las cadenas poliméricas por donde pueden pasar las moléculas de los gases, siendo más flexibles que el PMMA.



Fórmula 3.2 Metacriloxipropil tris(trimetilsiloxy)silano

Las lentes RP se subdividen en dos grupos principales:

a. Lentes fabricadas de copolímeros de metacrilato de alquilsiloxano.

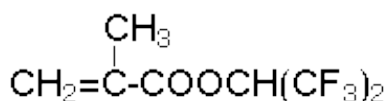
Esencialmente están constituidos de cadenas macromoleculares constituidas por enlaces de carbono-carbono con los siguientes radicales:

- Carboximetilo (-COOCH₃), que le proporciona rigidez.
- Carboxilo (-COOH), que le proporciona humectabilidad.
- Tris(trimetilsiloxy)silano (-SiOSi(CH₃)₃)₃, que les proporciona permeabilidad a los gases.
- Ácido metacrílico (CH₂C(CH₃)COOH) , u otros monómeros hidrofílicos, que contrarrestan la hidrofobia de los radiales alquilsiloxano y permiten obtener lentes con aceptable humectabilidad.

Con el aumento de la proporción de radicales siloxano se aumenta la permeabilidad a los gases al mismo tiempo que se disminuye la rigidez y la hidrofilia del material.

b. Lentes fabricadas de copolímeros de metacrilato de alquilsiloxano con metacrilato de fluoroalquilo.

Se trata de una derivación del anterior, a cuya formulación de les añade un monómero fluorado como puede ser metacrilato de 2,2,2-trifluoroetilo (Figura 3.3) que contribuyen a aumentar la permeabilidad al oxígeno, aumentar la rigidez y disminuir la flexión de las lentes resultantes.



Fórmula. 3.3 Metacrilato de 2,2,2-trifluoroetilo

3.2.2 Ventajas de las lentes de contacto rígidas permeables al gas respecto a las lentes de contacto de hidrogel.

Las LC RPG presenta múltiples ventajas:

- Permiten un mayor intercambio lagrimal entre lente de contacto y córnea, disminuyendo el riesgo de queratitis infecciosa.
- Mayor resistencia a depósitos proteicos (menor tasa de conjuntivitis papilar gigante CPG).
- Permite un aporte mayor de oxígeno a la córnea (respeta la fisiología ocular)
- Proporciona mayor calidad de visión que la LC de hidrogel, sobre todo en astigmatismos corneales altos, córneas irregulares (queratoconos, queratoplastias, etc.), así como pacientes post-operados de cirugía refractiva corneal.
- Permite la obtención de efecto ortoqueratológico para la reducción temporal de la miopía.
- Al no tener contenido en agua, las LC RPG no tienen cambios de hidratación dependientes del ambiente o la lagrima del usuario, lo que confiere una mayor estabilidad a la visión.

Hay que tener en cuenta que la principal desventaja de las RPG es la incomodidad inicial que supone para el usuario. No obstante, resulta necesario un periodo de adaptación.

3.3. Fabricación de LC RPG en España

En la tabla 3.3. podemos observar los diferentes laboratorios dedicados a la fabricación de lentes RPG, así como también disoluciones de mantenimiento para sus productos.

Uno de los laboratorios más conocidos es Conóptica S.L, se basa en el desarrollo, producción y comercialización de lentes de contacto, soluciones para su mantenimiento y confort, accesorios, instrumental óptico, y cursos de formación relacionados con la actividad anterior.

Laboratorios Eurolent se dedicada a la fabricación y distribución de lentes de contacto y solución de mantenimiento. Cuenta con una extensa gama de lentes de contacto, tanto de fabricación nacional como de distribución de la firma Wöhlk Contact Lisen.







La producción de la lente de contacto de prescripción es llevada a cabo contra pedido, sus especificaciones son muy amplias y más complejas y el proceso productivo requiere de una gran especialización, llegando algunas fases a convertirse en operaciones con gran componente manual y artesanal.

Otro laboratorio que destaca por la variabilidad de sus productos en RPG es Menicon, ofreciendo una amplia gama de materiales de lentes de contacto y diseños para promover la comodidad óptima y humectabilidad combinado con la salud ocular a largo plazo y la corrección visual superior.

Tabla 3.3. Laboratorios dedicados a la fabricación de lentes RPG. [3].

| Laboratorio | Esférica | Tórica | Multifocal | Ortoqueratología | Otros |
|--|----------|--------|------------|------------------|---|
|  Avda. de la Innovación, 2. (Madrid) | X | X | X | X | Ortoqueratología avanzada |
|  Santa Eulalia, 242. (L' Hospitalet de Llobregat) | X | X | X | | Ortoqueratología avanzada Corneas Irregulares Queratocono |
|  C/ Ronda de Poniente 12 (Madrid) | X | | | | |
|  Industrias 17 (Madrid) | X | X | | X | Queratocono |
|  C/ Hermenegildo Bielsa 18 (Madrid) | X | X | X | X | Post C. Refractiva Ortoqueratología avanzada |

| | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
|  Ronda de Valdecarrizo 41 (Madrid) | X | X | X | X | Ectasias Post C. Refractiva Corneas irregulares Queratocono |
|  C/industria 17 (Madrid) | X | | X | X | Queratocono |
|  C/Caballero de Gracia 7 (Madrid) | | | | | Prótesis |
|  C/ de Mallorca 277 (Barcelona). | X | X | X | X | Queratoplastia Queratocono Ortoqueratología avanzada Corneas irregulares |

3.4. Soluciones comerciales de mantenimiento para LC RPG

Actualmente en el mercado existen productos de marca blanca que no pueden garantizar una correcta trazabilidad en cuanto la limpieza, mantenimiento y cuidado de las lentes de contacto. Es por ello que cada uno de los fabricantes recomienda las soluciones de mantenimiento que más se acentúan o favorecen a su producción. Por ejemplo, Conóptica recomienda las líneas de soluciones de mantenimiento de productos CONCARE y BOSTON.

Así como se presentan nuevos fabricantes de lentes de contacto también lo hacen las disoluciones de mantenimiento, en la tabla 3.4 se detallan algunos de las diferentes disoluciones de mantenimientos que existen o existieron en el mercado.

Tabla 3.4. Disoluciones de mantenimiento y conservación de las lentes RPG. [2] [3]

| Fabricante | Marca | Actividad | Característica |
|--------------|------------------------|----------------|---|
| Avizor | Veralent Humectante GP | Conservante | Aseptización, conservación, aclarado y acondicionamiento de lentes RPG. |
| Basuch& Lomb | Boston SimPlus | Solución única | Elimina proteínas, limpia, desinfecta, acondiciona y conserva. |

| | | | |
|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|--|
| Basuch & Lomb Conóptica | Boston Advance acondicionador | Conservante | Sistema optimizado de conservación muy eficaz en la destrucción y eliminación de microorganismos nocivos que se encuentran en la superficie de las lentes RPG |
| Oté Pharma | Concare solución acondicionadora | Conservador | Solución humectante, acondicionadora y desinfectante para todo tipo de lentes RPG. |
| Oté Pharma | Concare solución limpiadora | Limpiador de superficie | Limpiador intensivo para lentes RPG. Elimina proteína y otras sustancias sólidas adherida a las lentes RPG. |
| Interlenco S. A | Veralent humectante GP | Conservante | Aseptización, conservación, aclarado y acondicionamiento de RPG. |
| Lenticon S.A. | Hefilcon humectante | Conservante /humectante | Sin timerosal. Para desinfectar y humectar lentes RPG |
| Eurolent | VEO Conservador | Conservante | Conservador para lentes RPG sin timerosal. Es una solución conservadora que sirve para la desinfección y humectación de las lentes de contacto RPG. |
| Disop, S. A. | Durasol conservador | Conservante | Es una solución de mantenimiento para lentes RPG. Incorpora agentes humectantes y lubricantes, máxima conservación gracias al EDTA y otros componentes y presenta un pH tolerable. |
| Abbott medical optics | TotalCare solución | Conservante | Sistemas de tres componetes, limpiador, conservante y eliminador de proteínas, sencillo y cómodo para lentes RPG. |
| Disop S.A. | Hidro health RGP2 | Conservante | Conservador que se utiliza para aclarar y conservar las lentes, tras la limpieza con limpiador Hidro health RGP1. |
| Eurolent | WOHLK AUFBEWAHRUNG | Conservante | Conservante para lentes RPG. |
| Menicon | Menicare plus | Solución única | Para limpieza diaria. |
| Basuch& Lomb | Limpiador profesional Boston | Limpiador | Elimina lípidos y depósitos permitiendo mejorar la humectabilidad de la lente. Indicado únicamente para uso profesional. |

En la tabla 3.5 se detallan la composición de cada uno de los productos descritos anteriormente.

Tabla 3.5. Composición de las disoluciones de mantenimiento y conservación de las lentes RPG.
[2] [3]

| | Conservantes | Agentes reguladores de pH | Agente Tensioactivos: Agentes humectantes y Viscosantes | Agentes Izotonizante |
|---|--|-----------------------------------|--|----------------------|
| Veo conservador /Hidro health RGP2 | Polihexametilen biguanida 0.0004% (PHMB); Edetato disódico 0.1% (EDTA) | Tetraborato sódico; Ácido bórico. | Poloxamer; Hidroxipropilmetil celulosa (HPMC) | Cloruro de sodio |
| Menicare plus | Polihexametilen biguanida 0.0005% (PHMB); Edetato disódico (EDTA) | | Poloxamer 0.5%; Hidroxipropilmetil celulosa (HPMC) | |
| Hefilcon humectante | Edetato disódico 0.05% (EDTA) | | Polivinilpirrolidona (PVP); Hidroxietil celulosa (HEC) | |
| Boston SimPlus | Gluconota de Clorhexidina 0.003%; Poliaminopropilbiguanida 0.0005% (DYMED) | Ácido bórico; Borato de sodio | Hidroxiálquilfosfonato (HYDRANATE); Poloxamina; Hidroxipropilmetil celulosa (HPMC); Glucam | Cloruro de sodio |
| Veralent Humectante GP | Edetato disódico 0.1% (EDTA); Polihexanida Biguanida 0.0002% (PHMB) | | | |
| Durasol Conservador | Edetato disódico 0.1% (EDTA); Polihexametilen biguanida 0.0004% (PHMB) | | Poloxamer; Hidroxipropilmetil celulosa (HPMC); | |
| WOHLK AUFBEWAHRUNG | Edetato disódico 0.001% (EDTA); Polihexametilen biguanida 0.0004% (PHMB) | | | |

| | | | | |
|---|--|--|--|--|
| Boston advance acondicionador | Poliaminopropil biguanida 0.0005% (DYMED); Gluconato de Clorhexidina (0.003%); Edetato disódico 0.05% (EDTA); Poliqua-ternario 10. | | Derivado de polietilenglicol; Alcohol polivinílico (PVA); Viscosizante celulósico. | |
| Concare solución acondicionadora | Polihexanida Biguanida 0.002% (PHMB) | | Alcohol polivinílico (PVA); Hidroxipropilmetil celulosa (HPMC) | |
| Concare solución limpiadora | Polihexanida Biguanida (PHMB) | | Gel de sílice | |
| Limpiador profesional Boston | | | Mezcla de surfactantes solubles en agua con un 10% de 2- Propanol | |
| TotalCare solución | Polihexametilén biguanida 0.0005% (PHMB); Edetato disódico 0.01% (EDTA); | | Hidroxipropilmetil celulosa (HPMC); | |

3.5. Características de los agentes tensioactivos para lentes de contacto rígidas permeables a los gases.

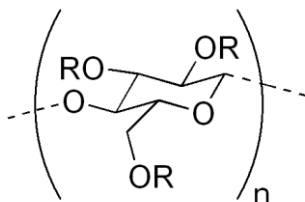
Las soluciones humectantes tienen como finalidad actuar sobre la superficie de la lente para convertir la superficie hidrofóbica en hidrofílica, para ser recubierta mejor por la película lagrimal y mejorar su tolerancia, proporciona una cubierta protectora sobre la lente y evitar su contaminación por lípidos, además de lubricar la córnea en el momento de la inserción de la lente. [8]

Cuanta mayor viscosidad tenga el agente, más efecto lubricante tendrá.

A continuación, estudiaremos los agentes humectantes y viscosantes más relevantes en las disoluciones comerciales.

➤ **Hidroxipropilmetil celulosa (HPMC), Hipromelosa, éter de propilenglicol-metilcelulosa. E-464.**

Es un polímero semisintético viscoelástico e inerte. Actúa como agente humectante en disoluciones de mantenimiento para LC rígidas.



Fórmula 3.4. Hidroxipropilmetil celulosa (HPMC)

Datos fisicoquímicos:

- Polvo o gránulos blancos, blanco-amarillento o blanco-grisáceo, higroscópico, después de desecación.
- Insoluble en agua caliente, acetona, etanol anhidro y tolueno [9]

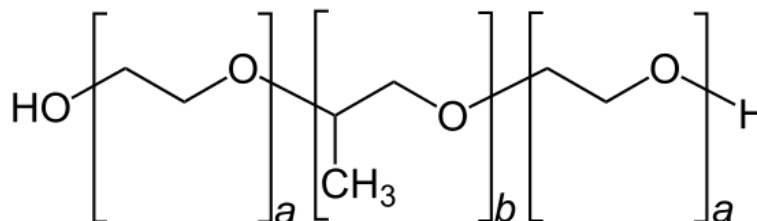
Características:

- Se utiliza para la preparación de formas farmacéuticas orales y tópicas, siendo preferida en la elaboración de soluciones oftálmicas. Además, prolonga la acción de los fármacos vehiculizados en gotas oftálmicas.
- Al ser no iónica, es compatible con sales metálicas y compuestos orgánicos iónicos.
- Resiste hasta un 100% de alcohol.
- En preparaciones oftálmicas tópicas se usa como agente suspensores y espesante, en colirios y lágrimas artificiales, y como humectante en lentes de contacto duras, y lubricante de prótesis oculares.
- Además, se utiliza como agente suspensores, estabilizante, espesante y emulgente de geles y pomadas, y como coloide protector, ya que previene la coalescencia o aglomeración de gotículas y partículas, inhibiendo así la formación de sedimentos.
- Estable en soluciones con pH =3-11.
- Incompatible con agentes oxidantes, condiciones extremas de pH.

- Dosificación: En colirios y lágrimas artificiales: al 0,45-1%. [9]

➤ **Poloxamer [11]**

Actúa como tensioactivos y humectante en soluciones de mantenimiento para LC.

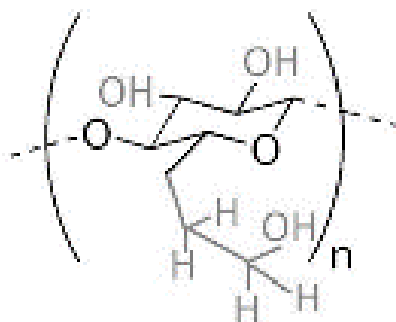


Fórmula 3.5. Poloxamer.

Datos fisicoquímicos:

- Microperlas ceras, blancos.
- Muy soluble en agua y en etanol al 96%
- Prácticamente insoluble en petróleo ligero (50-70° C)
- Punto de fusión: aprox. 50°C.
- Desde el punto de vista físico químico se forma una microemulsión formada por estructuras micelares de fosfolípidos de lecitina estabilizadas en la estructura gelificada del gel. En la parte apolar de las micelas se alojan el palmitato de isopropilo y los activos liposolubles a añadir y, en la parte polar, moléculas de agua gelificadas y los activos hidrosolubles a añadir.
- El gel se forma a temperaturas comprendidas entre 25-70°C. Por debajo de 25 o encima de 70°C forma soluciones.
- Estable en un rango de pH comprendido entre 4-8.
- Incompatible con el alcohol, ya que puede disolver la estructura micelar de la lecitina. Si se pueden utilizar en caso necesario polioles como propilenglicol para disolver o dispersar este tipo de principios activos, ya que no interaccionan con la estructura micelar.

➤ **Hidroxietilcelulosa (HEC), celulosa 2-hidroxietilèter, oxicelulosa. [10]**

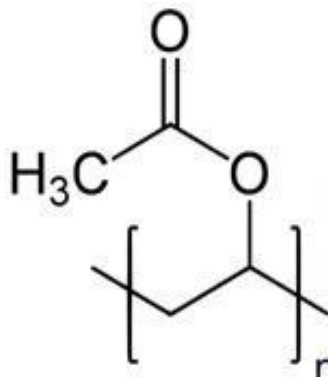


Fórmula 3.6 Hidroxietilcelulosa

Datos fisicoquímicos:

- Polvo o gránulos blancos, blanco-amarillento, o blanco-grisáceo.
- Soluble en agua caliente y en agua fría, dando una disolución coloidal.
- Insoluble en acetona, etanol 96% y en tolueno.
- Estable en pH de 2 a 11, siendo muy resistentes a principios activos ácidos, como el ácido glicólico.
- Se utiliza como agente para aumentar la viscosidad. Está presente en preparaciones lubricantes para ojos secos, para el cuidado de lentes de contacto.
- Dosificación, como gelificante, al 0,5 -4% según consistencia deseada (usual al 2%)
- Incompatible en medios alcalinos, con alcohol etílico (en más del 30%), y con electrolitos a saturación. Es parcialmente compatible con caseína, almidón, metilcelulosa, alcohol polivinílico y gelatina. Es incompatible con zeína (proteína del maíz).

➤ **Alcohol polivinílico (PVA) o poli alcohol de vinilo.**



Fórmula 3.7. Alcohol polivinílico

Es un polímero sintético. Actúa como tensioactivos, que disminuye la tensión superficial para lubricar la superficie ocular.

La viscosidad del PVA y su solubilidad en agua son propiedades que hacen que sea útil en gotas oftálmicas, lágrima artificial y en soluciones para lentes de contacto.

Datos físico-químicos:

- Gránulos amorfos o polvo blanco, con fórmula general (C₂H₄O) n.
- Soluble en formamida y en agua caliente (formando un coloide reversible que actúa como un plastificante).
- Resistente a aceites, grasas y disolventes
- Contiene diferentes residuos de grupos acetatos que da lugar a la formación de una capa protectora precorneal, posiblemente por arrastrar y extender el agua sobre la superficie ocular mediante el parpadeo.
- Insoluble en agua fría y disolventes orgánicos

4. Material

4.1. Preparación del PBS

Como se ha visto en la tabla 3.1. la lágrima contiene 98,2% de agua y 1,8 % de sólidos (en su mayoría NaCl), por lo tanto, para la preparación de los agentes tensioactivos partimos de la base de un medio tamponado como es la disolución salina tamponada de fosfato (Phosphate Buffered Saline “PBS”) con un pH de 7.4 igual que la lágrima. Se trata de una solución isotónica, no tóxica, y semejante a la del líquido extracelular de los mamíferos.

Para la realización de este medio se utiliza como disolvente agua ultra pura “MilliQ” y como solutos: cloruro de sodio (NaCl), hidrogeno fosfato de sodio ($H_2NaO_4P \cdot H_2O$) e hidróxido de sodio (NaOH). Mirar información de reactivos en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Información de reactivos para la preparación del PBS.

| Nombre y calidad | Fórmula | Casa comercial |
|--|------------------------|----------------|
| Sodio hidróxido en lentejas p.a. | NaCl | MERCK |
| Dihidrogenofosfato de sodio monohidratado p.a. | $H_2NaO_4P \cdot H_2O$ | Sigma-Aldrich |
| Sodio cloruro p.a. | NaOH | MERCK |

Cálculos previos para la preparación de Phosphate buffered saline (PBS)

A partir de cloruro de sodio (NaCl) 0,141M

$$0,5 L \cdot \frac{0,141 \text{ mol NaCl}}{1L} \cdot \frac{58,44g}{1 \text{ mol NaCl}} = 4,1200g \text{ NaCl}$$

A partir de hidrogeno fosfato de sodio ($H_2NaO_4P \cdot H_2O$) 0,010M

$$0,5 L \cdot \frac{0,010 \text{ mol } H_2NaO_4P \cdot H_2O}{1L} \cdot \frac{137,99g}{1 \text{ mol } H_2NaO_4P \cdot H_2O} = 0,6900g \text{ } H_2NaO_4P \cdot H_2O$$

A partir de hidróxido de sodio (NaOH) 2M

$$0,05 \text{ L} \cdot \frac{2 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ L}} \cdot \frac{40 \text{ g}}{1 \text{ mol NaOH}} = 4,0000 \text{ g NaOH}$$

Procedimiento:

a) Disolución de NaOH

- Pesar los gramos de NaOH en un vaso de precipitado previamente tarado.
- Añadir 30 ml de agua MilliQ y agitar hasta disolverlo.
- Dejar enfriar, traspasar al matraz aforado de 50 ml.
- Enjuagar el vaso de precipitado con pequeña cantidad de agua MilliQ, traspasar al matraz y acabar de enrasar.

b) Disolución de NaCl y H₂NaO₄P·H₂O

- Pesar los gramos de NaCl y H₂NaO₄P·H₂O en vaso de precipitados de 100ml respectivamente tarado.
- A cada uno añadir 50 ml de agua MilliQ y agitar hasta disolverlo.
- Mezclar en el vaso de precipitado de 1L ambas disoluciones, arrastrar con agua MilliQ lo que quede en cada vaso y añadirlo al anterior.
- Añadir agua hasta que el volumen final sea de 400ml.

c) Neutralización de la disolución

- Comprobar el pH de la mezcla del apartado b, con ayuda del ph-metro.
- Añadir con la pipeta NaOH lentamente hasta ajustar el ph de la disolución (pH 7.4).
- Una vez ajustada se traspasa al matraz de 1L, se arrastra con agua MilliQ lo que pudo haber quedado en el vaso anterior y terminar de enrasar.

4.2. Preparación de disoluciones de humectantes/ tensioactivos

Existen diferentes agentes humectantes presentes en el mercado, como se han descrito en la tabla 3.2. Nuestro objeto de estudio para evaluar el comportamiento físico-químico serán los agentes tensioactivos siguientes: hidroxipropilmetil-celulosa (HPMC), hidroxietil-celulosa (HEC), y alcohol polivinílico (PVA).

Teniendo en cuenta que tanto la HPMC y HEC son polímeros derivados de la celulosa, el método para la preparación de estos dos tensioactivos serán las mismas.

Información general de los reactivos utilizados:

Tabla 4.2. Información de reactivos para la preparación de las disoluciones de HEC, HPMC y PVA.

| Nombre | Fórmula | Casa comercial |
|-----------------------------|---------------|----------------|
| Hidroxietil-celulosa | variable | SIGMA |
| Hidroxipropilmetil-celulosa | variable | SIGMA |
| Alcohol polivinílico | $(C_2H_4O)_n$ | ALDRICH |

Preparación de las disoluciones de HPMC/HEC

- Disoluciones a preparar (100ml)
 - HPMC: 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5 % (p/v)
 - HEC: 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5 % (p/v)
- Preparación:
 - Pesar los gramos necesarios según concentración en un vaso de precipitado pequeño previamente tarado.
 - Poner 40 ml de PBS en un vaso de 100ml y calentar a 70°C con la manta calefactora.
 - Añadir lentamente el soluto y agitar suavemente con la varilla hasta que no se observe grumos.
 - Arrastrar lo que queda de soluto en el vaso donde se pesó con el mismo PBS previamente calentado.
 - Retirar de la manta y añadir 30 ml de PBS a temperatura ambiente y continuar agitando durante 15 minutos.
 - Traspasar al matraz aforado de 100ml y limpiar el vaso con pequeñas cantidades de PBS, trasladarlo al matraz y enrasar.
 - Homogenizar la disolución y guardar a la nevera un mínimo de 12 horas.

**Durante la preparación dejar la varilla dentro del matraz a enrasar.

** En caso de no se disuelva bien utilizar ultrasonidos.

****Este procedimiento se lleva a cabo para ambos solutos a sus respectivas concentraciones.**

**** Dejar fuera de la nevera hasta T° ambiente antes de comenzar a realizar los ensayos correspondientes.**

Preparación de las disoluciones de PVA

1. Disoluciones a preparar (100ml)
 - PVA: 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5 % (p/v)
2. Preparación:
 - Pesar los gramos necesarios de PVA en un vaso pequeño previamente tarado.
 - Poner 50 ml de PBS en un vaso de 100ml
 - Añadir lentamente el PVA sobre el PBS, agitar suavemente con la varilla. Arrastrar con un poco de PBS el PVA que quede en el vaso.
 - Continuar agitando unos 10 minutos.
 - Calentar a 70°C el vaso con el PVA, agitando hasta que esté totalmente solubilizado.
 - Dejar enfriar y traspasar al matraz aforado de 100ml.
 - Limpiar el vaso con pequeñas cantidades de PBS, trasladarlo al matraz y enrasar.
 - Homogenizar la disolución y guardar a la nevera un mínimo de 12 horas.

****Durante la preparación dejar la varilla dentro del matraz a enrasar.**

****Repetir el procedimiento para cada concentración de PVA.**

**** Dejar fuera de la nevera hasta t° ambiente antes de comenzar a realizar los ensayos correspondientes.**

4.3. Sustratos utilizados para la medida del ángulo de contacto

Para el estudio del comportamiento humectante de las disoluciones preparadas se ha utilizado los siguientes materiales en forma de disco:

- Polimetacrilato de metilo (PMMA)
- Boston 7– Atafocón A (RPG)

Estos dos materiales se diferencian por su permeabilidad. El PMMA tiene la transmisibilidad al oxígeno más baja a diferencia del RPG, que tienen una permeabilidad bastante alta como se describió en el apartado 3.2.1.

En cuanto a la humectación para los LC rígidos se trata de dos materiales con elevado carácter hidrofóbico y que absorben muy poca cantidad de agua desde un 0,1-5%. Entre ambos materiales el RPG es más hidrofóbico y su superficie es menos humectable como puede observarse en las imágenes siguientes por el ángulo de contacto de una gota de agua.

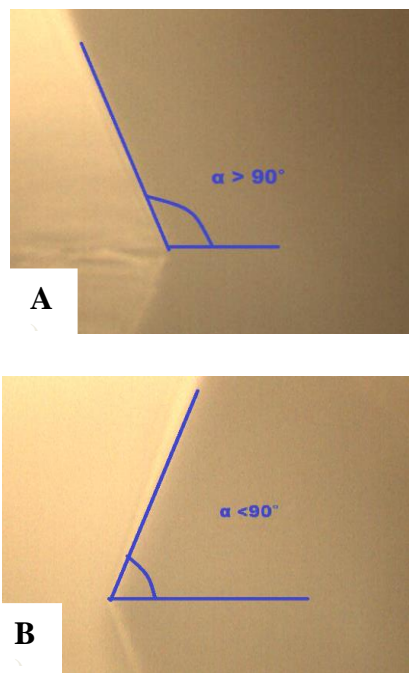


Figura 4.1. Gota de agua MilliQ sobre disco de RPG (A). Gota de agua sobre disco de PMMA (B).

5. Metodología experimental

5.1. Determinación del pH

Objetivo

Determinación de pH de disoluciones con tensioactivos a diferentes concentraciones.

Fundamento

El pH-metro es un método electroquímico que consiste en medir el potencial que se desarrolla a través del electrodo cuando es sumergido en una sustancia. Esta corriente eléctrica dependerá de la cantidad de iones hidrogeno (H^+) libres en la muestra.

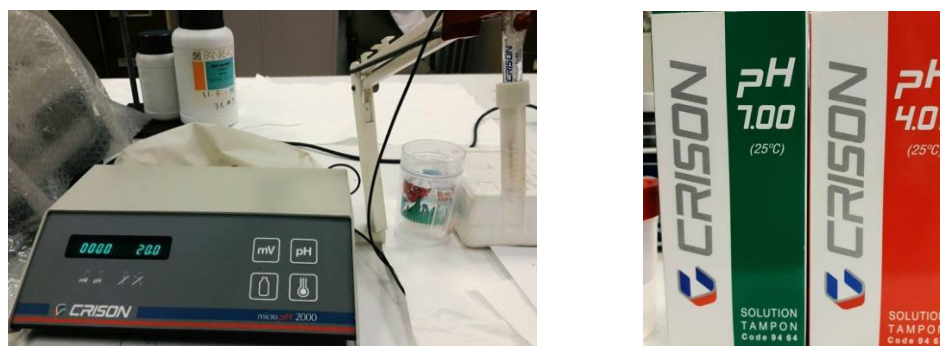


Figura 5.1. pH-metro CRISTON (imagen izquierda), soluciones tamponadas pH 7.00 y pH 4.01 de CRITON (imagen derecha) para calibrar el aparato.

Material

- Vaso de precipitado de 50 ml
- pH-metro
- Electrodo
- Muestra
- Agua MilliQ
- Disoluciones de calibrage a T° ambiente (pH 4 y 7)

Procedimiento

1. Limpiar y secar el material.
2. Encender el pH-metro, un rato antes de realizar la calibración.
3. Calibración.
 - a. Retirar el electrodo de la disolución de mantenimiento, limpiarlo con agua MilliQ y secarlo.
 - b. Ajustar el pH-metro a la temperatura de trabajo.
 - c. Medir el pH de la disolución conocida (pH=7).
 - d. Limpiar electrodo con agua MilliQ y secarlo.
 - e. Medir el pH de la disolución conocida (pH=4).
 - f. Retirar el electrodo de la disolución y repetir el apartado (d)
 - g. El pH marcará 0000, y estará listo para realizar mediciones.
4. Medidas de pH para cada muestra.
 - a. Sumergir el electrodo en la muestra y realizar 3 medidas del PH para cada muestra.
 - b. Calcular la media ($pH_1 + pH_2 + pH_3 = pH_{\text{muestra}}$)
 - c. Limpiar el electrodo con agua MilliQ cada vez que se cambie de muestra.

5.2. Determinación de la densidad

Objetivo

Determinar la densidad de disoluciones con tensioactivos a diferentes concentraciones.

Fundamento

El picnómetro es un método muy preciso que consiste en determinar el peso del agua necesaria para ser llenado a una determinada temperatura (calibración). Una vez encontrado el volumen real del picnómetro obtendremos la densidad de cada disolución.



Figura 5.2. Picnómetro de líquidos .

$$v = \frac{m_{H_2O} - m_{picnometro}}{d} \quad (1)$$

$$d = \frac{(m_{liquido} - m_{picnometro})}{v} \quad (2)$$

Fórmula 5.1. Ecuación para determinar el volumen real del picnómetro (1). Ecuación para determinar la densidad de las muestras (2).

Material:

- Balanza analítica $\pm 0,0001g$
- Pipeta de 2ml
- Pipum
- Picnómetro de 5ml.
- Vaso de precipitado de 50 ml.
- Agua MilliQ
- Papel secante
- Muestras

Procedimiento:

1. Limpieza y secado del material.
2. Poner en marcha la balanza analítica y tarar.
3. Calibrar el picnómetro
 - a. Anotar la temperatura de trabajo, para conocer la densidad del agua (d_{H_2O}).
 - b. Pesar el picnómetro vacío 3 veces y hacer la media (m_{pic})
 - c. Pesar el picnómetro con agua MilliQ, utilizando la pipeta, enrasar, secar el exterior y pesar.
 - d. Repetir el procedimiento 2 veces más, vaciando en cada caso el picnómetro y volviéndolo a llenar, realizar la media de las tres medidas (m_{H_2O}).
 - e. Calcular el volumen real del picnómetro con la ecuación (1).

4. Determinar la densidad de las disoluciones.
 - a. Vaciar el picnómetro y enjuagarlo con un poco de disolución a medir.
 - b. Llenar el picnómetro con la disolución, utilizando la pipeta, enrasar, secar el exterior y pesar.
 - c. Realizar 2 medidas consecutivas como indica el apartado b, vaciando en cada caso el picnómetro y volviéndolo a llenar. Realizar la media (m_{liq})
 - d. Calcular la densidad con la ecuación (2).
5. Repetir para cada disolución el apartado 4, enjuagando previamente el picnómetro y la pipeta con agua MilliQ y luego con disolución a medir.

5.3. Determinación de la salinidad

Objetivo

Determinar la salinidad de disoluciones con tensioactivos a diferentes concentraciones.

Fundamento

El refractómetro es un instrumento óptico que emplea la medición del índice de refracción para determinar la cantidad de NaCl en soluciones acuosas. El método es simple y rápido.



Figura 5.3. Refractómetro.

Material

- Vaso de precipitado 50ml
- Pipeta Pasteur o cuentagotas
- Agua MilliQ
- Refractómetro de salinidad
- Muestra

Procedimiento

1. Limpiar y secar todo el material
2. Encender el refractómetro
3. Limpiar y secar la platina del refractómetro donde se pone el líquido con toques suaves (no frotar)
4. Calibración
 - a. Con la pipeta, poner una gota de agua MilliQ en la platina, cubriéndola completamente.
 - b. Hacer la lectura y comprobar que el valor es 0,0.
 - c. Absorber la gota con papel secante y con toques suaves para acabar de retirar el líquido.
5. Lecturas de las muestras
 - a. Poner la muestra en la platina y realizar la lectura.
 - b. Realizar 2 medidas más, limpiando y secando en cada medida.
 - c. Realizar el valor medio de las tres lecturas. Este es el valor directo de la salinidad.

“Para cada muestra proceder a limpiar con agua MilliQ la platina del refractómetro”.

5.4. Determinación de la viscosidad

Objetivo

Determinación de la viscosidad de disoluciones con tensioactivos a diferentes concentraciones.

Fundamento

El Viscoball determina la viscosidad de líquidos Newtonianos y gases con precisión. El sistema de medida se basa en cronometrar el tiempo que una esfera sólida necesita para recorrer una distancia entre dos puntos dentro de un tubo inclinado con la muestra. Los resultados obtenidos se determinan como viscosidad dinámica en cP = mPa·s.

$$k = \frac{\eta}{t (d_1 - d_2)} \quad (3)$$

$$\eta = t (d_1 - d_2) k \quad (4)$$

Fórmula 5.2. Ecuación para determinar la constante k del Viscoball (3). Ecuación para determinar la viscosidad de las muestras (4).



Figura 5.4. Aparato para determinar la viscosidad "Viscobaleta" (imagen izquierda). Bolas del Viscobaleta para diferentes rangos de viscosidad (imagen derecha).

Material

- Vaso de precipitados de 100 mL
- Viscosímetro de caiga de bola (Viscobaleta)
- Agua MilliQ
- Muestra (cantidad >60 mL)
- Cronómetro
- Varilla de vidrio

Procedimiento

1. Limpiar todo el material y anotar la temperatura de trabajo.
2. Escoger la medida adecuada de la bola a utilizar según el rango de viscosidad determinada por el fabricante.
3. Calibración del viscosímetro
 - a. Limpiar con agua MilliQ 3 veces
 - b. Llenar el viscosímetro con agua MilliQ.
 - c. Introducir la bola correspondiente según el rango de viscosidad de la muestra.
 - d. Comprobar girando el viscosímetro que no haya quedado ninguna burbuja de aire.
 - e. Medir el tiempo (t), que tarda el agua en fluir entre dos señales A-C.
 - f. Realizar 3 medidas y hacer la media
 - g. Anotar la densidad de la bola que proporciona el fabricante (d_1).
 - h. Calcular la constante, K , del viscosímetro con la ecuación (3), sabiendo que la viscosidad (η) y densidad del agua (d_2) vienen tabulada según la temperatura de trabajo.
4. Medidas de las muestras
 - a. Enjuagar con la muestra, empleando unos 5 ml (3 veces)
 - b. Llenar el viscosímetro completamente con la muestra.

- c. Introducir la bola correspondiente según el rango de viscosidad de la muestra.
- d. Comprobar girando el viscosímetro que no haya quedado ninguna burbuja de aire.
- e. Medir el tiempo (t), que tarda el agua en fluir entre dos señales A-C
- f. Realizar 3 medidas y hacer la media
- g. Calcular la viscosidad absoluta con la ecuación (4). Para cada muestra limpiar el viscosímetro con agua y repetir apartado 4.

5.5. Determinación de la tensión superficial

Objetivo

Determinar la tensión superficial de disoluciones con tensioactivos a diferentes concentraciones a través de la placa de Wilhelmy.

Fundamento

Este método se basa en la placa de Wilhelmy, que consiste en medir la fuerza necesaria para separar una placa de la superficie de un líquido. La placa de Wilhelmy nos proporciona el valor directo de la fuerza aplicada en mN/m.

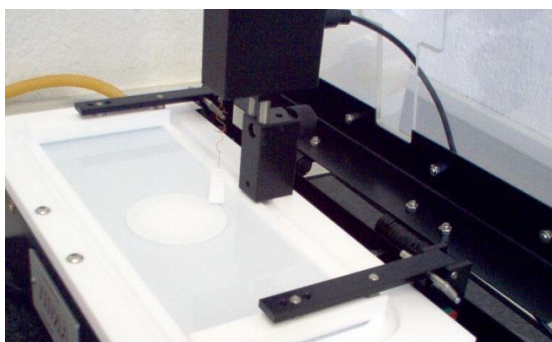


Figura 5.5. Sistema para determinar la tensión superficial (Placa de Langmuir).

Material

- 2 Vaso de precipitado pequeño
- Balanza de Lamngmuir
- Pinza
- Agua MilliQ
- Muestra (cantidad pequeña)

Procedimiento

1. Encender el ordenador y el aparato. Anotar la temperatura de trabajo.
2. Poner la tira de papel (placa de Wilhelmy) en agua MiliQ nueva durante unos 3 minutos.
3. Colocar la tira en la balanza de Lamngmuir del aparato, con ayuda de una pinza.
4. Poner líquido a medir en un recipiente plano pequeño que esté limpio y seco.
5. Dejar 1 minuto la tira en contacto con el líquido.
6. Hacer que la tira suba hasta que el contacto con el líquido sea mínimo (poner a cero la lectura de presión superficial con el software)
7. Desenganchar la tira del líquido y anotar el valor que da el software (valor de la tensión superficial).
8. Realizar 6 medidas y sacar el valor medio.
9. Antes de comenzar a medir una disolución nueva, se pondrá la tira en agua nueva MiliQ durante 3 minutos (se realiza en dos ocasiones para asegurar que la tira queda libre de la disolución anteriormente medida).
10. Para las siguientes disoluciones se repite el proceso del apartado 3 al 8.
11. Antes de guardar la placa se pondrá 10 minutos en agua MilliQ para acabar de limpiarla.

5.6. Determinación del ángulo de contacto

Objetivo

Determinar el ángulo de contacto por medio del programa “ Motic Images Plus 2.0”

Fundamento

La medida del ángulo de contacto se obtiene a través de un mecanismo donde interviene:

- Fuente luminosa
- Un soporte donde se coloca el sustrato y la solución a medir.
- Un objetivo de 10X aumentos, conectado a una cámara para captar las imágenes y un programa para procesarlas.
- Programa “ImageJ” para realizar las medidas de los ángulos.

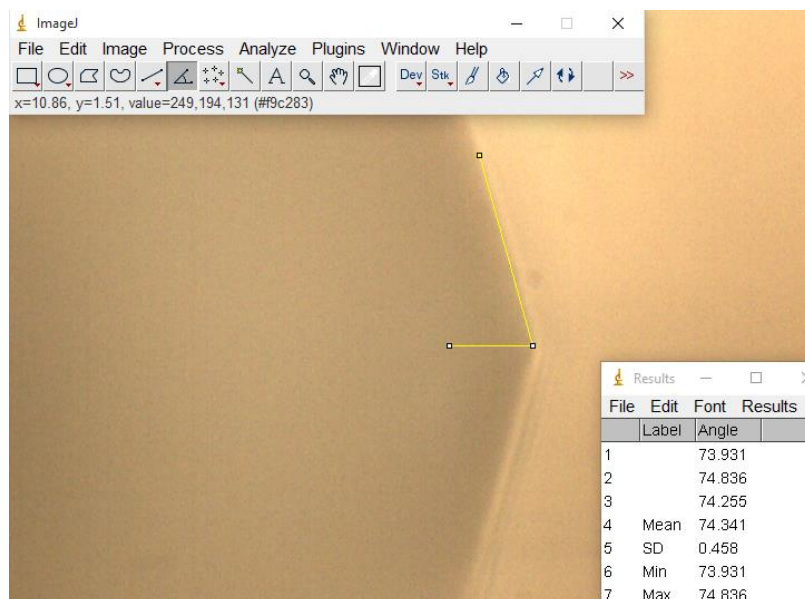


Figura 5.6. Gota de disolució sobre sustrato. Medició del angle de contacte.

Material

- Montaje para capturar imágenes
- Sustratos (RPG, PMMA)
- Agua MilliQ
- Papel secante
- Recipiente pequeño
- Pinzas
- Micropipeta (2µl) y puntas
- Muestras (poca cantidad)

Procedimiento

- Preparación de los sustratos (RPG o PMMA):
 - Limpiar exhaustivamente con agua y jabón la superficie de los sustratos, para evitar impurezas adheridas.
 - Colocarlo sobre papel secante y dejar secar.
- Colocar en el recipiente una pequeña cantidad de muestra, previamente enjuagado con agua MilliQ y solución a medir.
- Situar con ayuda de las pinzas el sustrato de RPG en la base del montaje y enfocar.
- Ajustar la micropipeta a 2µl, coger la muestra y colocarlo sobre el sustrato.
- Enfocar la gota de la muestra problema y capturar la imagen.

- Enjuagar el sustrato con abundante agua y dejar secar completamente. Repetir los apartados c,d,e con el sustrato PMMA.
- Repetir el procedimiento utilizando una punta nueva para cada muestra a medir.
- Con ayuda del programa "ImageJ" realizar las medidas de los ángulos.
- Realizar varias medidas y realizar la media de los ángulos obtenidos.

6. Resultados y discusión de los resultados.

Las medidas fueron realizadas en el laboratorio de recerca "Electroquímica, electrodeposición, monocapas y películas superficiales e interfaciales" edificio TR1 del departamento de Ingeniería Química.

Densidad a 22°C

Las tablas 6.1 y 6.2 nos proporcionan la densidad de cada una de las soluciones estudiadas.

Tabla 6.1 Densidad del disolvente patrón "PBS".

| Muestra | Densidad (g/cm ³) |
|---------|-------------------------------|
| PBS | 1,0054 |

Tabla 6.2. Densidades de HPMC, HEC y PVA, a diferentes concentraciones.

| Concentración(%p/v) | Densidad (g/cm ³) | | |
|---------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | HPMC (g/cm ³) | HEC (g/cm ³) | PVA (g/cm ³) |
| 0,01 | 1,0063 | --- | --- |
| 0,02 | 1,0049 | 1,0053 | 1,0053 |
| 0,05 | 1,0055 | 1,0056 | 1,0057 |
| 0,10 | 1,0061 | 1,0057 | 1,0062 |
| 0,20 | 1,0067 | 1,0063 | 1,0063 |
| 0,50 | 1,0069 | 1,0074 | 1,0073 |

A continuación, representamos los resultados obtenidos mediante una gráfica, para una mejor interpretación.

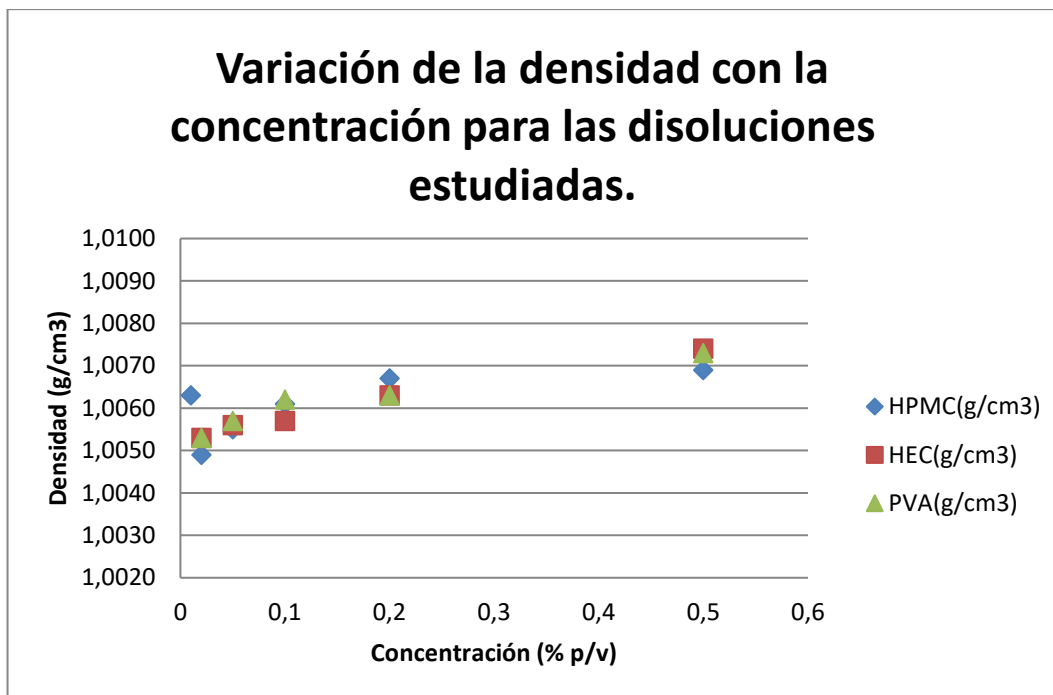


Figura 6.1. Variación de la densidad según concentración.

Como podemos observar en la figura 6.1 la densidad de las disoluciones de HPMC, HEC y PVA depende de la concentración, es decir, en general a medida que la concentración aumenta la densidad también aumenta. Este incremento varía muy poco entre las muestras, aumentando de manera similar y constante.

pH a 22°C

Las siguientes tablas nos presentan los valores de pH de cada una de las soluciones estudiadas.

Tabla 6.3. Medidas de pH del disolvente patrón "PBS".

| Muestra | pH |
|---------|-------------|
| PBS | [7,37-7,43] |

Tabla 6.4. Mediadas de pH de las disoluciones HPMC, HEC y PVA, a diferentes concentraciones.

| Concentración(%p/v) | pH | | |
|---------------------|------|------|------|
| | HPMC | HEC | PVA |
| 0,01 | 7,41 | --- | -- |
| 0,02 | 7,41 | 7,39 | 7,43 |
| 0,05 | 7,41 | 7,38 | 7,42 |
| 0,10 | 7,41 | 7,44 | 7,39 |
| 0,20 | 7,40 | 7,43 | 7,40 |
| 0,50 | 7,38 | 7,36 | 7,37 |

La tabla 6.4. nos muestra el pH de las diferentes preparaciones. Teniendo en cuenta que el PBS inicial no es el mismo para todas las disoluciones y su pH varia ligeramente en el intervalo indicado (Tabla 6.3), podemos decir que la presencia de los agentes tensioactivos no altera el pH y que este viene dado por el de la disolución tamponada de PBS.

Salinidad a 22°C

Las siguientes tablas nos proporcionan los valores de salinidad de cada una de las soluciones estudiadas.

Tabla 6.5. Medidas de salinidad del disolvente patrón "PBS".

| Muestra | Salinidad (g/100ml) |
|---------|---------------------|
| PBS | 1,0 |

Tabla 6.6. Medidas de salinidad de HPMC, HEC y PVA, a diferentes concentraciones.

| Concentración (% p/v) | Salinidad (g/100ml) | | |
|-----------------------|---------------------|---------------|---------------|
| | HPMC (g/100ml) | HEC (g/100ml) | PVA (g/100ml) |
| 0,01 | 1,10 | --- | --- |
| 0,02 | 1,10 | 1,10 | 1,10 |
| 0,05 | 1,10 | 1,10 | 1,20 |
| 0,10 | 1,10 | 1,10 | 1,20 |
| 0,20 | 1,20 | 1,20 | 1,27 |
| 0,50 | 1,40 | 1,50 | 1,37 |

La salinidad viene dada fundamentalmente por la concentración de sales de la disolución PBS y no debería variar al aumentar la concentración de un tensioactivo no-iónico. El instrumento de medida indica la salinidad a partir de las medidas de índice de refracción, y el incremento observado al aumentar la concentración se relaciona con el aumento de la viscosidad que afecta la medida del índice (comparar las Tablas 6.6 salinidad y 6.8 viscosidad).

Viscosidad a 22°C

Las siguientes tablas muestran la viscosidad de cada una de las soluciones utilizadas.

Tabla 6.7. Medidas de viscosidad del disolvente patrón "PBS".

| Muestra | Viscosidad (cP) |
|---------|-----------------|
| PBS | 0,9871 |

Tabla 6.8. Medidas de viscosidad de HPMC, HEC y PVA a diferentes concentraciones.

| Concentración p/v) | Viscosidad (cP) | | |
|-----------------------|-----------------|----------|----------|
| | HPMC (cP) | HEC (cP) | PVA (cP) |
| 0,01 | 1,0052 | --- | --- |
| 0,02 | 1,0415 | 1,0250 | 0,9983 |
| 0,05 | 1,1212 | 1,1533 | 1,0205 |
| 0,10 | 1,2556 | 1,3896 | 1,0337 |
| 0,20 | 1,6286 | 1,8994 | 1,0608 |
| 0,50 | 3,2002 | 4,4871 | 1,2308 |

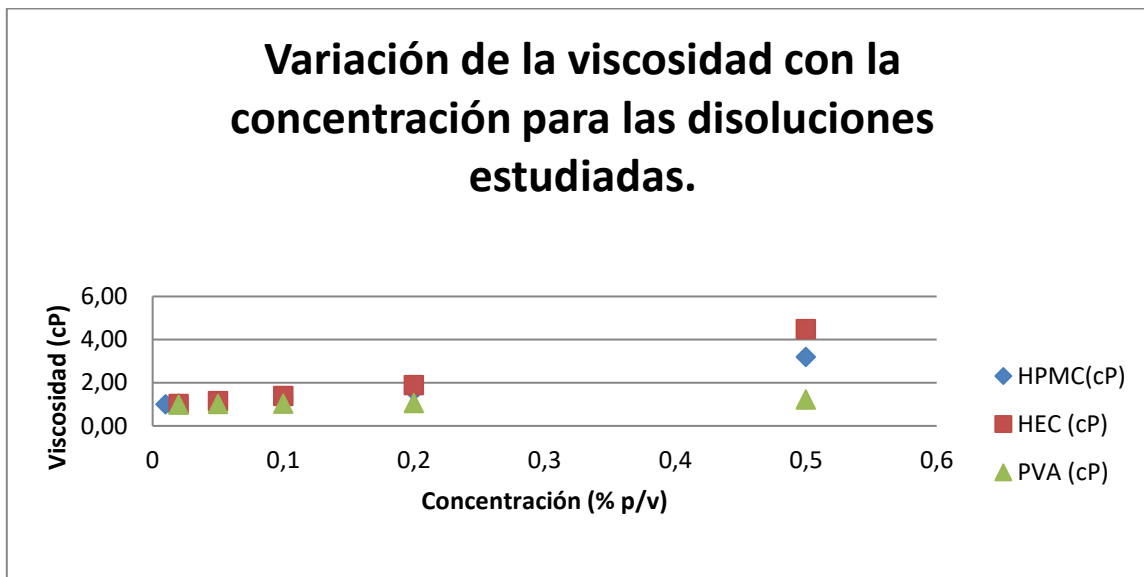


Figura 6.2. Variación de la viscosidad según concentración.

En todos los casos observamos que la viscosidad se incrementa a medida que aumenta la concentración. Este crecimiento se da en mayor proporción para la HEC, seguido de la HPMC y en menor proporción el PVA.

La diferencia de viscosidades entre ellas se hace más notoria a partir de la concentración 0,10% y es notable a 0,5% (1,2869 cP entre HEC y HPMC; 1,9694 cP entre HPMC y PVA) con un valor máximo de 3,2563 cP entre HEC y PVA. A bajas concentraciones el aumento de viscosidad es casi lineal pero al aumentar la concentración se hace más exponencial. La disolución de HEC es la que presenta los mayores valores de viscosidad a cada concentración.

Tensión superficial a 22° C

Las tablas 6.9 y 6.10 nos proporcionan la tensión superficial de cada una de las soluciones utilizadas.

Tabla 6.9. Tensión superficial del disolvente patrón "PBS".

| Muestra | Tensión superficial (mN/m) |
|---------|----------------------------|
| PBS | 72,28 |

Tabla 6.10. Medidas de tensión superficial de HPMC, HEC y PVA, a diferentes concentraciones.

| Concentración (% p/v) | Tensión superficial (mN/m) | | |
|-----------------------|----------------------------|------------|------------|
| | HPMC (mN/m) | HEC (mN/m) | PVA (mN/m) |
| 0,01 | 49,32 | --- | -- |
| 0,02 | 47,30 | 61,06 | 63,58 |
| 0,05 | 47,14 | 63,44 | 63,38 |
| 0,10 | 47,10 | 62,90 | 61,60 |
| 0,20 | 46,04 | 64,14 | 57,80 |
| 0,50 | 46,28 | 64,68 | 60,18 |

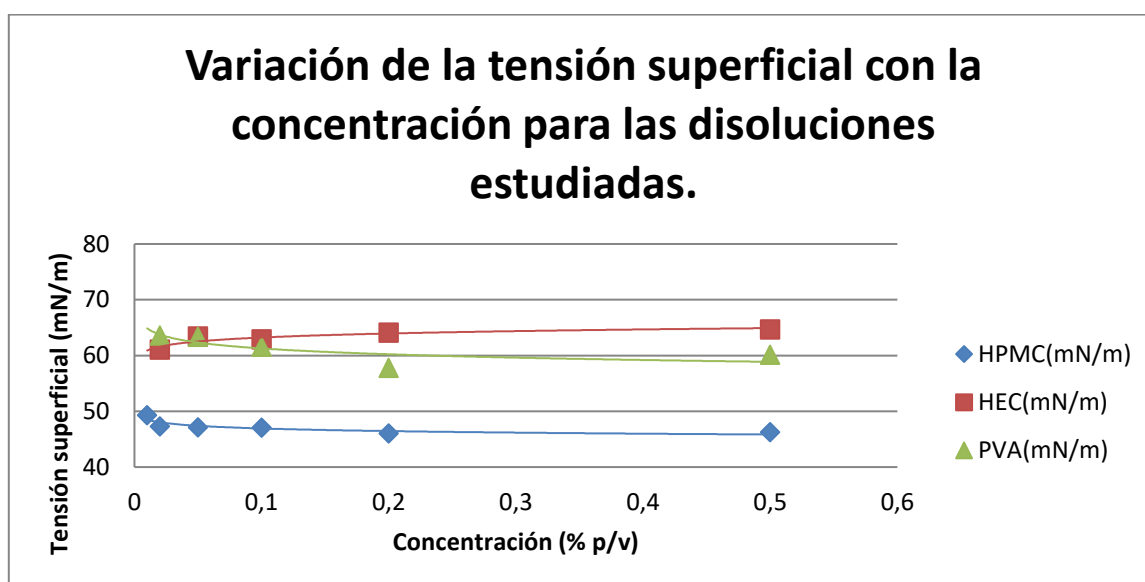


Figura 6.3. Variación de la tensión superficial según concentración

En la gráfica podemos observar que:

- En las disoluciones de HPMC y PVA la tensión superficial disminuye ligeramente al aumentar la concentración. Las variaciones más importantes se dan a bajas concentraciones. Las dos disoluciones se comportan como agentes tensioactivos, puesto que disminuyen la tensión superficial del PBS, aunque la HPMC presenta una acción tensioactiva mayor ya que disminuye más la tensión superficial respecto del PBS para una misma concentración.

- Las disoluciones de HEC también presentan acción tensioactiva puesto que su tensión superficial es menor que la del PBS. En este caso, la tensión superficial aumenta ligeramente al aumentar la concentración en el intervalo estudiado.

Ángulo de contacto a 22°C

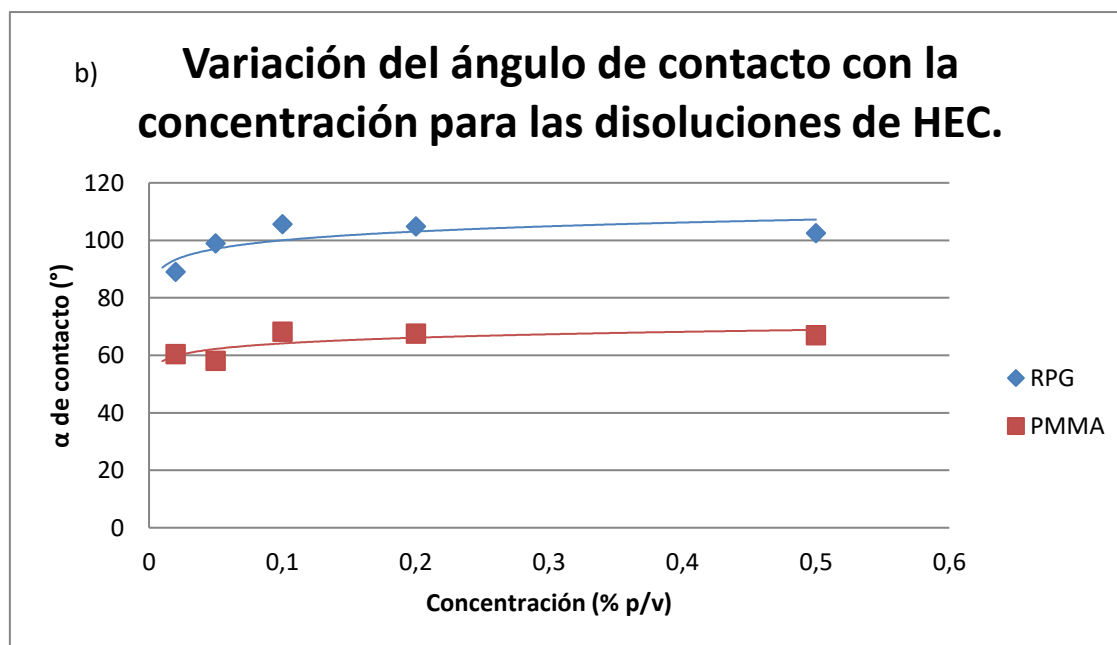
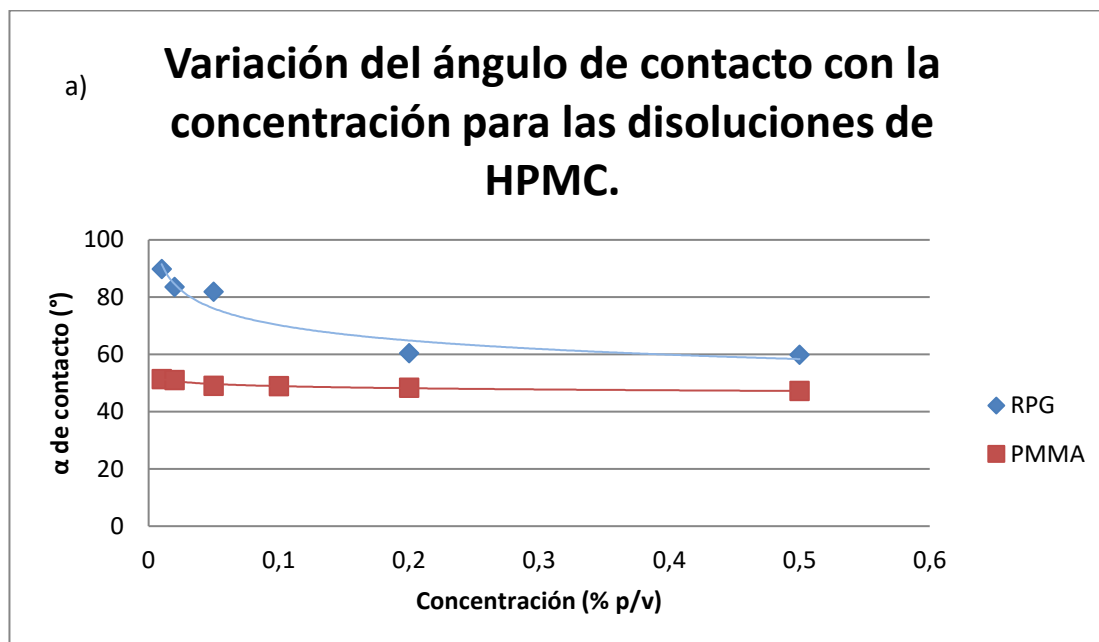
En las tablas siguientes 6.10 y 6.11 muestran el ángulo de contacto de cada una de las soluciones estudiadas.

Tabla 6.11. Ángulo de contacto del disolvente patrón "PBS".

| Muestra | ángulo de contacto (°) | |
|---------|------------------------|-------|
| | RPG | PMMA |
| PBS | 101,99 | 63,54 |

Tabla 6.12. Medidas de ángulo de contacto de HPMC, HEC y PVA, a diferentes concentraciones.

| Concentración (% p/v) | ángulo de contacto (°) | | | | | |
|--------------------------|------------------------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | HPMC (°) | | HEC (°) | | PVA (°) | |
| | RPG | PMMA | RPG | PMMA | RPG | PMMA |
| 0,01 | 89,81 | 51,43 | --- | --- | --- | --- |
| 0,02 | 83,63 | 51,03 | 89,07 | 60,46 | 102,83 | 67,04 |
| 0,05 | 81,95 | 49,04 | 98,94 | 58,11 | 98,61 | 66,89 |
| 0,10 | --- | 48,96 | 105,61 | 68,22 | 93,60 | 66,76 |
| 0,20 | 60,41 | 48,39 | 104,88 | 67,60 | 84,66 | 66,59 |
| 0,50 | 59,88 | 47,23 | 102,47 | 66,99 | 82,53 | 66,23 |



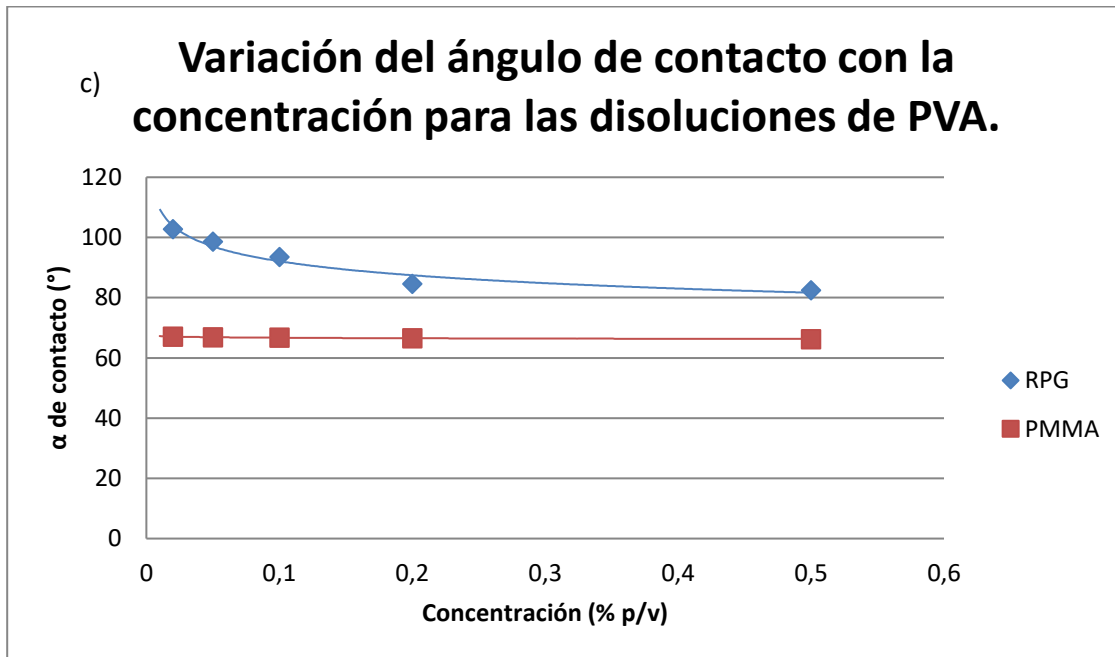


Figura 6.4. Variación del ángulo de contacto según concentración. Figura a) disoluciones de HPMC. Figura b) disoluciones de HEC. Figura c) disoluciones de PVA.

Las figuras muestran que para las disoluciones de HPMC y PVA:

- El ángulo de contacto varia con la concentración de la misma manera que la tensión superficial, es decir disminuye ligeramente al aumentar la concentración.
- Las variaciones del ángulo de contacto con la concentración son más importantes para el material RPG que para el PMMA en el que el ángulo es prácticamente constante.

Para las disoluciones de HEC se observa:

- El ángulo de contacto aumenta ligeramente al aumentar la concentración como también ocurría con la variación de la tensión superficial.
- En este caso la variación del ángulo de contacto con la concentración muestra una tendencia parecida para el RPG y el PMMA.

Para todas las disoluciones los ángulos de contacto sobre PMMA son inferiores que para el RPG debido a su mayor carácter hidrofílico.

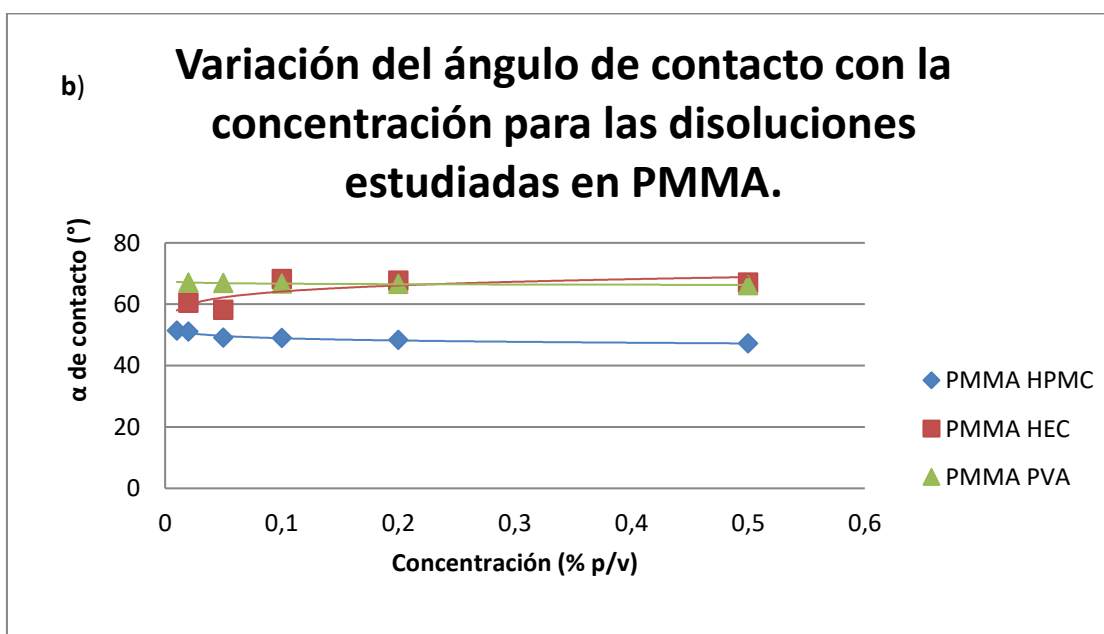
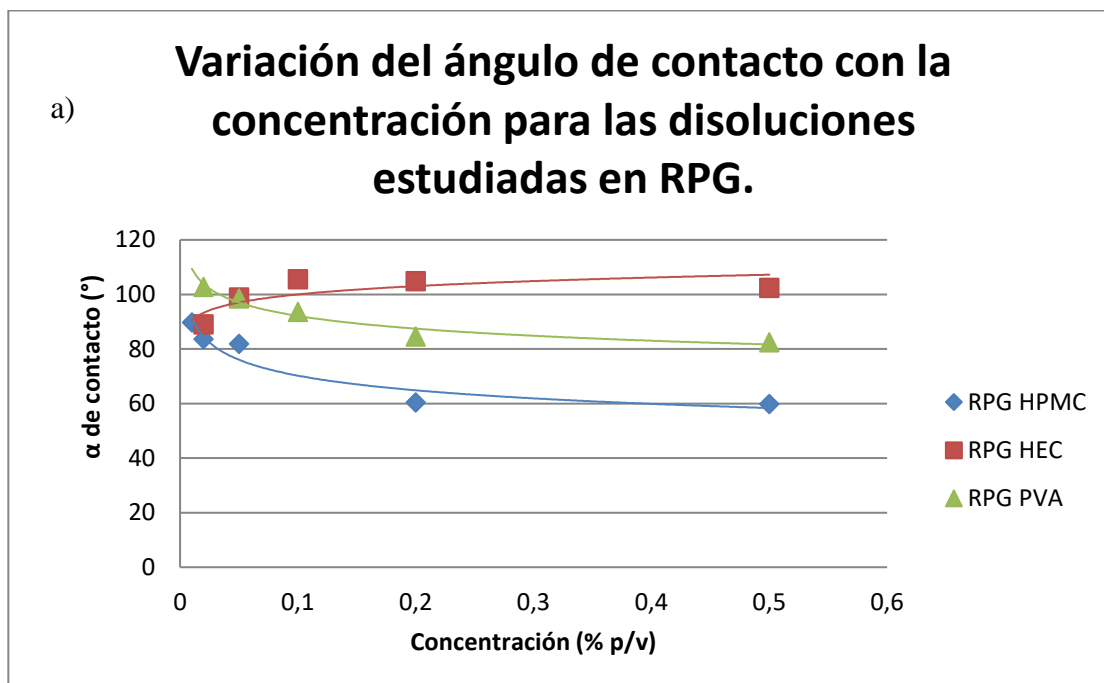


Figura 6.5. Variación del ángulo de contacto según concentración. Figura a) muestra el comportamiento de todas las disoluciones sobre RPG. Figura b) muestra el comportamiento de todas las disoluciones sobre PMMA.

A nivel general la figura 6.5. muestra el comportamiento de las disoluciones según el material. La disminución del ángulo de contacto se hace más evidente sobre el

material RPG que es el material más hidrofóbico (6.5.a). La disolución de HPMC es la que realiza una acción humectante mayor a igual concentración puesto que es la que presenta menores ángulos de contacto.

7. Tabla resumen de los resultados obtenidos

| Datos: | |
|--------------------------|-------------|
| temperatura (°C): | 21°C |
| densidad H2O | 0,99808g/ml |
| viscosidad H2O | 0,979 mPa·s |
| Tensión superficial H2O | 72,5 mN/m |
| Volumen picnómetro: | 5,3088 mL |
| Constante viscoball (1): | 0,02412 |

| PBS | | | | | | | |
|-------------------|-----------------|------|----------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Concentración (%) | Densidad (g/mL) | pH | Salinidad (g/100 mL) | Viscosidad (cP) | Ángulo (°) RPG | Ángulo (°) PMMA | Tensión (mN/m) |
| | 1,0054 | 7,41 | 1 | 0,9871 | 101,99 | 63,54 | 72,28 |

| Substancia: HPMC | | | | | | | |
|-------------------|-----------------|------|----------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Concentración (%) | Densidad (g/mL) | pH | Salinidad (g/100 mL) | Viscosidad (cP) | Ángulo (°) RPG | Ángulo (°) PMMA | Tensión (mN/m) |
| 0,01% | 1,0063 | 7,41 | 1,10 | 1,0052 | 89,81 | 51,43 | 49,32 |
| 0,02% | 1,0049 | 7,41 | 1,10 | 1,0415 | 83,63 | 51,03 | 47,30 |
| 0,05% | 1,0055 | 7,41 | 1,10 | 1,1212 | 81,95 | 49,04 | 47,14 |
| 0,10% | 1,0061 | 7,41 | 1,10 | 1,2556 | | 48,96 | 47,10 |
| 0,20% | 1,0067 | 7,40 | 1,20 | 1,6286 | 60,41 | 48,39 | 46,04 |
| 0,50% | 1,0069 | 7,38 | 1,43 | 3,2002 | 59,88 | 47,23 | 46,28 |

| Substancia: HEC | | | | | | | |
|-------------------|-----------------|------|----------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Concentración (%) | Densidad (g/mL) | pH | Salinidad (g/100 mL) | Viscosidad (cP) | Ángulo (°) RPG | Ángulo (°) PMMA | Tensión (mN/m) |
| 0,02% | 1,0053 | 7,39 | 1,07 | 1,0250 | 89,07 | 60,46 | 61,06 |
| 0,05% | 1,0056 | 7,38 | 1,07 | 1,1533 | 98,94 | 58,11 | 63,44 |
| 0,10% | 1,0057 | 7,44 | 1,07 | 1,3896 | 105,61 | 68,22 | 62,90 |
| 0,20% | 1,0063 | 7,43 | 1,20 | 1,8994 | 104,88 | 67,60 | 64,14 |
| 0,50% | 1,0074 | 7,36 | 1,50 | 4,4871 | 102,47 | 66,99 | 64,68 |

| Substancia: | PVA | | | | | | |
|------------------|-----------------|------|----------------------|-----------------|----------------|-----------------|---------------|
| Concentració (%) | Densidad (g/mL) | pH | Salinidad (g/100 mL) | Viscosidad (cP) | Ángulo (°) RPG | Ángulo (°) PMMA | Tensió (mN/m) |
| 0,02% | 1,0053 | 7,43 | 1,10 | 0,9983 | 102,83 | 67,04 | 63,58 |
| 0,05% | 1,0057 | 7,42 | 1,20 | 1,0205 | 98,61 | 66,89 | 63,38 |
| 0,10% | 1,0062 | 7,39 | 1,20 | 1,0337 | 93,60 | 66,76 | 61,60 |
| 0,20% | 1,0063 | 7,40 | 1,27 | 1,0608 | 84,66 | 66,59 | 57,80 |
| 0,50% | 1,0073 | 7,37 | 1,37 | 1,2308 | 82,53 | 66,23 | 60,18 |

8. Conclusiones

- Es de suma importancia el uso de agentes humectantes en la superficie de LC RPG para convertir la superficie hidrofóbica en hidrofílica, y así conseguir que esta sea más tolerable en contacto con la córnea.
- Para todas las disoluciones estudiadas, la densidad aumenta ligeramente a medida que aumenta la concentración del agente tensioactivo.
- Los valores de pH y salinidad dependen de la disolución del PBS. El pH en todas las disoluciones respeta el de la lágrima que se encuentra en el rango 7,2-7,7, presentando un valor medio de 7,4.
- La variación observada en los valores de la salinidad se relaciona con el aumento de la viscosidad y puesto que la concentración de sales de la disolución PBS es constante.
- Tanto para la HPMC, HEC y PVA, la viscosidad aumenta a medida que existe un incremento en la concentración (el PVA en menor proporción).
- Las disoluciones de HPMC y PVA, tiene comportamientos similares respecto a su acción tensioactiva. Al aumentar la concentración el ángulo de contacto disminuye al igual que lo hace la tensión superficial.
- En el caso de la HEC a medida que la concentración aumenta, el ángulo de contacto y la tensión superficial aumenta de forma ligera.
- De las tres disoluciones analizadas la HPMC es la que proporciona mejor acción humectante ya que a igual concentración es la que más disminuye el ángulo de contacto (mayor efecto en RPG que en PMMA), respecto a los valores obtenidos para la disolución de PBS. Por otra parte, también presenta mejor acción tensioactiva al disminuir más la tensión superficial respecto a la del PBS a igual concentración.



- Gracias a su buena acción tensioactiva y humectante la HPMC es un componente esencial en las disoluciones de mantenimiento y conservación de las lentes RPG a nivel comercial.

9. Bibliografía

- [1] Wikipedia. “*Historia de las lentes de contacto*”. [Consulta: julio 2016]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Lente_de_contacto
- [2] Juan Carlos Martínez Moral (Presidente Consejo General de Colegios de Ópticos-Optometristas). “*Vademécum informado de contactología 2012*”. Ignacio Javier Ferreira Burgos, Ángel Herreros Villoria, Rubén Cuadrado Asensio. Madrid: GRUPO ICM comunicación, 2012. ISBN 13:978-84-939656-2-4.
- [3] Juan Carlos Martínez Moral (Presidente Consejo General de Colegios de Ópticos-Optometristas). “*Vademécum informado de contactología 2016*”. Ignacio Javier Ferreira Burgos, Ángel Herreros Villoria, Rubén Cuadrado Asensio. Madrid: GRUPO ICM comunicación, 2016. ISBN: 978-84-941966-7-6.
- [4] Información de ópticas. “*Lentes de contacto según el uso*”. Fecha de publicación: 6 de noviembre 2012. [Consulta: octubre 2016]. Disponible en: <http://www.informacionopticas.com/lentes-de-contacto-segun-el-uso/>
- [5] Johnson & Johnson Vision Care. “*Explicación de las propiedades y características de las lentes de contacto*”. [Consulta: octubre 2016]. Disponible en: <https://www.jnjvisioncare.es/education/balance-of-properties/explanation-of-contact-lens-properties-and-features>
- [6] Ashok Gary. Fisiopatología de la película lagrimal. India. “*Composición de la lágrima*” pág. 8-10. [Consulta: noviembre 2016]. Disponible en: <http://media.axon.es/pdf/66773.pdf>
- [7] Óptica Fábregas. “*Las lentes de contacto*”. [Consulta: septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.opticafabregas.net/las-lentes-de-contacto/>
- [8] Juan A. Durán de la Colina, Inmaculada Aguado del Yerro. “*Mantenimiento de las lentes de contacto*”. [Consulta: agosto 2016]. Disponible en: <http://www.oftalmo.com/publicaciones/lentes/cap5.htm>
- [9] Acofarma distribución, S.A. “*Ficha de información técnica: Hidroxipropilmetilcelulosa*”. [Consulta: agosto 2016]. Disponible en: <http://www.acofarma.com/admin/uploads/descarga/4373->

[47a1ee7b1d50cddacc89770a35df329dd1da0fdc/main/files/Hidroxiopropil metil celulosa.pdf](http://47a1ee7b1d50cddacc89770a35df329dd1da0fdc/main/files/Hidroxiopropil_metil_celulosa.pdf)

[10] Acofarma distribución, S.A. “*Ficha de información técnica: Hidroxietilcelulosa*”. [Consulta: agosto 2016]. Disponible en: <http://www.acofarma.com/admin/uploads/download/4372-74eb60d9b12c61189d9ec629354449f0f73b7724/main/files/Hidroxietilcelulosa.pdf>

[11] Acofarma distribución, S.A. “*Ficha de información técnica: Hidroxietilcelulosa*”. [Consulta: agosto 2016]. Disponible en: http://www.acofarma.com/admin/uploads/download/7065-634109dfb6dfd04fae8889492f4e56c2cb5bbccd/main/files/Poloxamer__Pluronic_F_127_.pdf

[12] Escuela de Tecnología Médica. “*Lentes de contacto, tipos materiales y fabricación*”. Fecha de publicación: 31 de agosto de 2012 [Consulta: agosto 2016]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/OPTO2012/clase-14-lc-materiales-tipos-y-fabricacin-14134983>

10. Anexo

10.1. Resultados de las medidas realizadas

DENSIDAD

| Agua ($d=0,99808\text{g/cm}^3$) | Medidas (g) | | | Promedio (g) | Desviación Estándar | Volumen (cm^3)($V=m/d$) |
|--------------------------------------|-------------|--------|--------|-----------------|------------------------|---|
| | 5,2954 | 5,3060 | 5,2945 | 5,2986 | $6,4 \cdot 10^{-3}$ | 5,3088 |

| PBS | Medidas(g) | | | Promedio (g) | Desviación Estándar | Densidad (g/cm^3) |
|-----|------------|--------|--------|-----------------|------------------------|---------------------------------|
| | 5,3397 | 5,3360 | 5,3368 | 5,3375 | $1,95 \cdot 10^{-3}$ | 1,0054 |

| HPMC (% p/v) | Medidas (g) | | | Promedio (g) | Desviación Estándar | Densidad (g/cm^3) |
|-----------------|-------------|--------|--------|-----------------|------------------------|---------------------------------|
| 0,01 | 5,3445 | 5,3420 | 5,3408 | 5,3424 | $1,89 \cdot 10^{-3}$ | 1,0063 |
| 0,02 | 5,3360 | 5,3337 | 5,3353 | 5,3350 | $1,18 \cdot 10^{-3}$ | 1,0049 |
| 0,05 | 5,3388 | 5,3379 | 5,3377 | 5,3381 | $0,59 \cdot 10^{-3}$ | 1,0055 |
| 0,10 | 5,3427 | 5,3382 | 5,3434 | 5,3414 | $2,82 \cdot 10^{-3}$ | 1,0061 |
| 0,20 | 5,3496 | 5,3420 | 5,3413 | 5,3443 | $4,60 \cdot 10^{-3}$ | 1,0067 |
| 0,50 | 5,3398 | 5,3515 | 5,3456 | 5,3456 | $5,85 \cdot 10^{-3}$ | 1,0069 |

| HEC (% p/v) | Medidas(g) | | | Promedio (g) | Desviación Estándar | Densidad (g/cm^3) |
|----------------|------------|--------|--------|-----------------|------------------------|---------------------------------|
| 0,02 | 5,3386 | 5,3381 | 5,3337 | 5,3368 | $2,70 \cdot 10^{-3}$ | 1,0053 |
| 0,05 | 5,3366 | 5,3356 | 5,3426 | 5,3383 | $3,79 \cdot 10^{-3}$ | 1,0056 |
| 0,10 | 5,3390 | 5,3379 | 5,3408 | 5,3392 | $1,46 \cdot 10^{-3}$ | 1,0057 |
| 0,20 | 5,3395 | 5,3427 | 5,3447 | 5,3423 | $2,62 \cdot 10^{-3}$ | 1,0063 |
| 0,50 | 5,3476 | 5,3452 | 5,3507 | 5,3478 | $2,76 \cdot 10^{-3}$ | 1,0074 |

| PVA (% p/v) | Medidas (g) | | | Promedio (g) | Desviación Estándar | Densidad (g/cm^3) |
|----------------|-------------|--------|--------|-----------------|------------------------|------------------------------|
| 0,02 | 5,3358 | 5,3373 | 5,3384 | 5,3372 | $1,31 \cdot 10^{-3}$ | 1,0053 |
| 0,05 | 5,3423 | 5,3368 | 5,3383 | 5,3391 | $2,84 \cdot 10^{-3}$ | 1,0057 |
| 0,10 | 5,3430 | 5,3413 | 5,3408 | 5,3417 | $1,15 \cdot 10^{-3}$ | 1,0062 |
| 0,20 | 5,3411 | 5,3443 | 5,3417 | 5,3424 | $1,70 \cdot 10^{-3}$ | 1,0063 |
| 0,50 | 5,3492 | 5,3476 | 5,3459 | 5,3476 | $1,65 \cdot 10^{-3}$ | 1,0073 |

pH

| PBS | Medidas (g) | | | Desviación Estándar | Promedio = pH |
|-----|-------------|------|------|---------------------|---------------|
| | 7,42 | 7,40 | 7,41 | 0,01 | 7,42 |

| HPMC (% p/v) | Medidas (g) | | | Desviación Estándar | Promedio = pH |
|-----------------|-------------|------|------|-----------------------|---------------|
| 0,01 | 7,41 | 7,41 | 7,41 | 0 | 7,41 |
| 0,02 | 7,41 | 7,41 | 7,42 | $5,77 \cdot 10^{-3}$ | 7,41 |
| 0,05 | 7,41 | 7,42 | 7,41 | $5,77 \cdot 10^{-3}$ | 7,41 |
| 0,10 | 7,42 | 7,41 | 7,41 | $5,77 \cdot 10^{-3}$ | 7,41 |
| 0,20 | 7,42 | 7,39 | 7,39 | $17,32 \cdot 10^{-3}$ | 7,40 |
| 0,50 | 7,38 | 7,38 | 7,38 | 0 | 7,38 |

| HEC (% p/v) | Medidas (g) | | | Desviación Estándar | Promedio = pH |
|----------------|-------------|------|------|---------------------|---------------|
| 0,02 | 7,39 | 7,39 | 7,39 | 0,00 | 7,39 |
| 0,05 | 7,38 | 7,38 | 7,38 | 0,00 | 7,38 |
| 0,10 | 7,44 | 7,44 | 7,44 | 0,00 | 7,44 |
| 0,20 | 7,43 | 7,43 | 7,43 | 0,00 | 7,43 |
| 0,50 | 7,36 | 7,36 | 7,36 | 0,00 | 7,36 |

| PVA (% p/v) | Medidas (g) | | | Desviación Estándar | Promedio = pH |
|----------------|-------------|------|------|-----------------------|---------------|
| 0,02 | 7,41 | 7,44 | 7,44 | $17,32 \cdot 10^{-3}$ | 7,43 |
| 0,05 | 7,43 | 7,42 | 7,42 | $5,77 \cdot 10^{-3}$ | 7,42 |
| 0,10 | 7,39 | 7,39 | 7,39 | 0,00 | 7,39 |
| 0,20 | 7,40 | 7,40 | 7,40 | 0,00 | 7,40 |
| 0,50 | 7,36 | 7,38 | 7,38 | $11,55 \cdot 10^{-3}$ | 7,37 |

SALINIDAD

| | Medidas (g) | | | Desviación Estándar | SALINIDAD (g/100ml) |
|-------------------|----------------|-----|-----|------------------------|------------------------|
| Agua | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,00 |
| PBS | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,00 | 1,00 |
| 0,01 % (p/v) HPMC | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 0,00 | 1,10 |
| 0,02 % (p/v) HPMC | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 0,00 | 1,10 |
| 0,05 % (p/v) HPMC | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 0,00 | 1,10 |
| 0,10 % (p/v) HPMC | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 0,00 | 1,10 |
| 0,20 % (p/v) HPMC | 1,2 | 1,3 | 1,1 | 0,10 | 1,20 |
| 0,50 % (p/v) HPMC | 1,4 | 1,4 | 1,5 | $57,74 \cdot 10^{-3}$ | 1,43 |
| 0,02 % (p/v) HEC | 1,0 | 1,1 | 1,1 | $57,74 \cdot 10^{-3}$ | 1,07 |
| 0,05 % (p/v) HEC | 1,1 | 1,1 | 1,0 | $57,74 \cdot 10^{-3}$ | 1,07 |
| 0,10 % (p/v) HEC | 1,1 | 1,1 | 1,0 | $57,74 \cdot 10^{-3}$ | 1,07 |
| 0,20 % (p/v) HEC | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 0,00 | 1,20 |
| 0,50 % (p/v) HEC | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 0,00 | 1,50 |
| 0,02 % (p/v) PVA | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 0,00 | 1,10 |
| 0,05 % (p/v) PVA | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 0,00 | 1,20 |
| 0,10 % (p/v) PVA | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 0,00 | 1,20 |
| 0,20 % (p/v) PVA | 1,2 | 1,3 | 1,3 | $57,74 \cdot 10^{-3}$ | 1,27 |
| 0,50 % (p/v) PVA | 1,4 | 1,3 | 1,4 | $57,74 \cdot 10^{-3}$ | 1,37 |

VISCOSIDAD

| Agua ($d=0,99808\text{g/cm}^3$) | Tiempos(s) | | | Promedio (s) | Desviación Estándar | Constante (K) |
|--------------------------------------|------------|-------|-------|-----------------|------------------------|------------------|
| | 32"82 | 33"13 | 32"81 | 32"92 | 0,18 | 0,02412 |

| PBS | Tiempos(s) | | | Promedio (s) | Desviación Estándar | Viscosidad (cP) |
|-----|------------|-------|-------|-----------------|------------------------|--------------------|
| | 33.39 | 33.45 | 33.33 | 33.39 | 0,06 | 0,9871 |

| HPMC (% p/v) | Tiempos(s) | | | Promedio (s) | Desviación Estándar | Viscosidad (cP) |
|-----------------|------------|---------|---------|-----------------|------------------------|--------------------|
| 0,01 | 34.04 | 34.03 | 34.02 | 34.03 | 0,01 | 1,0052 |
| 0,02 | 35.26 | 35.22 | 35.19 | 35.22 | 0,04 | 1,0415 |
| 0,05 | 37.91 | 38.00 | 37.89 | 37.93 | 0,06 | 1,1212 |
| 0,10 | 42.60 | 42.32 | 42.59 | 42.50 | 0,16 | 1,2556 |
| 0,20 | 55.06 | 55.29 | 55.11 | 55.15 | 0,12 | 1,6286 |
| 0,50 | 1'49"01 | 1'48"65 | 1'47"52 | 108.39 | 0,78 | 3,2002 |

| HEC (% p/v) | Tiempos(s) | | | Promedio (s) | Desviación Estándar | Viscosidad (cP) |
|----------------|------------|---------|---------|-----------------|------------------------|--------------------|
| 0,02 | 34.69 | 34.53 | 34.79 | 34.67 | 0,13 | 1,0250 |
| 0,05 | 38.93 | 39.08 | 39.05 | 39.02 | 0,08 | 1,1533 |
| 0,10 | 47.12 | 46.68 | 47.25 | 47.02 | 0,30 | 1,3896 |
| 0,20 | 1'04"51 | 1'03"68 | 1'04"71 | 64.30 | 0,55 | 1,8994 |
| 0,50 | 2'32"22 | 2'31"95 | 2'31"91 | 152.03 | 0,17 | 4,4871 |

| PVA (% p/v) | Tiempos(s) | | | Promedio (s) | Desviación Estándar | Viscosidad (cP) |
|----------------|------------|-------|-------|-----------------|------------------------|--------------------|
| 0,02 | 33.84 | 33.72 | 33.76 | 33.77 | 0,06 | 0,9983 |
| 0,05 | 34.49 | 34.61 | 34.49 | 34.53 | 0,07 | 1,0205 |
| 0,10 | 34.56 | 35.29 | 35.13 | 34.99 | 0,38 | 1,0337 |
| 0,20 | 36.08 | 35.67 | 35.98 | 35.91 | 0,21 | 1,0608 |
| 0,50 | 41.47 | 42.06 | 41.57 | 41.70 | 0,32 | 1,2308 |

TENSIÓN SUPERFICIAL

| | Medidas(mN/m) | | | | | Desviación Estándar | Tensión superficial (mN/m) |
|------|---------------|------|------|------|------|---------------------|----------------------------|
| Agua | 72,5 | 72,5 | 72,5 | 72,6 | 72,7 | 0,09 | 72,56 |
| PBS | 72,8 | 72,1 | 72,1 | 72,4 | 72,0 | 0,33 | 72,28 |

| HPMC (% p/v) | Medidas (mN/m) | | | | | Desviación Estándar | Tensión superficial (mN/m) |
|--------------|----------------|------|------|------|------|---------------------|----------------------------|
| 0,01 | 49,3 | 50,3 | 48,9 | 48,9 | 49,2 | 0,58 | 49,32 |
| 0,02 | 47,9 | 47,7 | 46,9 | 47,2 | 46,8 | 0,48 | 47,30 |
| 0,05 | 48,0 | 47,2 | 46,5 | 47,1 | 46,9 | 0,55 | 47,14 |
| 0,10 | 47,3 | 47,5 | 47,4 | 46,7 | 46,6 | 0,42 | 47,10 |
| 0,20 | 46,1 | 46,2 | 46,0 | 46,0 | 45,9 | 0,11 | 46,04 |
| 0,50 | 46,4 | 46,4 | 46,0 | 46,5 | 46,1 | 0,22 | 46,28 |

| HEC (% p/v) | Medidas(mN/m) | | | | | Desviación Estándar | Tensión superficial (mN/m) |
|-------------|---------------|------|------|------|------|---------------------|----------------------------|
| 0,02 | 61,5 | 60,9 | 61,2 | 61,0 | 60,7 | 0,30 | 61,06 |
| 0,05 | 62,9 | 63,8 | 63,6 | 63,8 | 63,1 | 0,42 | 63,44 |
| 0,10 | 63,1 | 63,1 | 62,9 | 63,0 | 62,4 | 0,29 | 62,90 |
| 0,20 | 64,4 | 64,4 | 63,9 | 64,3 | 63,7 | 0,32 | 64,14 |
| 0,50 | 65,0 | 64,9 | 64,4 | 64,7 | 64,4 | 0,28 | 64,68 |

| PVA (% p/v) | Medidas (mN/m) | | | | | Desviación Estándar | Tensión superficial (mN/m) |
|-------------|----------------|------|------|------|------|---------------------|----------------------------|
| 0,02 | 63,5 | 63,9 | 63,6 | 63,5 | 63,4 | 0,19 | 63,58 |
| 0,05 | 63,5 | 63,4 | 63,3 | 63,5 | 63,2 | 0,13 | 63,38 |
| 0,10 | 61,6 | 61,7 | 61,7 | 61,4 | 61,6 | 0,12 | 61,60 |
| 0,20 | 58,0 | 58,0 | 57,9 | 57,5 | 57,6 | 0,23 | 57,80 |
| 0,50 | 60,4 | 60,3 | 60,1 | 60,2 | 59,9 | 0,19 | 60,18 |

ÁNGULO DE CONTACTO

| | Material | Medidas | | | Desviación estándar | Ángulo de contacto (°) |
|------|----------|---------|--------|--------|---------------------|------------------------|
| AGUA | RPG | 102,45 | 114,44 | 112,70 | 6,68 | 109,86 |
| | PMMA | 73,28 | 73,58 | 73,08 | 0,25 | 73,31 |
| PBS | RPG | 102,77 | 100,41 | 102,80 | 1,37 | 101,99 |
| | PMMA | 63,87 | 63,22 | 63,53 | 0,32 | 63,54 |

| HPMC (% p/v) | Material | Medidas | | | Desviación estándar | Ángulo de contacto (°) |
|-----------------|----------|---------|-------|-------|------------------------|---------------------------|
| 0,01 | RPG | 94,90 | 87,19 | 87,35 | 4,40 | 89,81 |
| | PMMA | 51,46 | 51,26 | 51,58 | 0,16 | 51,43 |
| 0,02 | RPG | 88,75 | 80,26 | 81,89 | 4,50 | 83,63 |
| | PMMA | 50,22 | 51,15 | 51,73 | 0,76 | 51,03 |
| 0,05 | RPG | 81,56 | 82,34 | 81,95 | 0,39 | 81,95 |
| | PMMA | 49,11 | 46,29 | 51,71 | 2,71 | 49,04 |
| 0,10 | PMMA | 49,76 | 48,17 | 48,96 | 0,79 | 48,96 |
| 0,20 | RPG | 60,98 | 60,24 | 60,00 | 0,51 | 60,41 |
| | PMMA | 48,14 | 48,28 | 48,74 | 0,31 | 48,39 |
| 0,50 | RPG | 62,47 | 58,68 | 58,50 | 2,24 | 59,88 |
| | PMMA | 48,54 | 46,40 | 46,74 | 1,15 | 47,23 |

| HEC (% p/v) | Material | Medidas | | | Desviación estándar | Ángulo de contacto (°) |
|----------------|----------|---------|---------|---------|------------------------|---------------------------|
| 0,02 | RPG | 85,04 | 91,48 | 90,69 | 3,51 | 89,07 |
| | PMMA | 58,59 | 62,64 | 60,16 | 2,04 | 60,46 |
| 0,05 | RPG | 97,61 | 96,84 | 102,36 | 2,99 | 98,94 |
| | PMMA | 57,17 | 55,37 | 61,78 | 3,31 | 58,11 |
| 0,10 | RPG | 110,033 | 103,782 | 103,026 | 3,84 | 105,61 |
| | PMMA | 68,707 | 67,221 | 68,732 | 0,86 | 68,22 |
| 0,20 | RPG | 107,439 | 105,876 | 101,339 | 3,17 | 104,88 |
| | PMMA | 66,060 | 66,558 | 70,185 | 2,25 | 67,60 |
| 0,50 | RPG | 103,451 | 99,374 | 104,574 | 2,74 | 102,47 |
| | PMMA | 66,695 | 68,102 | 66,161 | 1,00 | 66,99 |

| PVA (% p/v) | Material | Medidas | | | Desviación estándar | Ángulo de contacto (°) |
|----------------|----------|---------|---------|---------|------------------------|---------------------------|
| 0,02 | RPG | 101,059 | 105,914 | 101,510 | 2,68 | 102,83 |
| | PMMA | 65,479 | 67,654 | 67,979 | 1,36 | 67,04 |
| 0,05 | RPG | 100,179 | 99,710 | 95,947 | 2,32 | 98,61 |
| | PMMA | 66,244 | 65,821 | 68,609 | 1,50 | 66,89 |
| 0,10 | RPG | 94,022 | 95,203 | 91,571 | 1,85 | 93,60 |
| | PMMA | 67,742 | 64,449 | 68,090 | 2,00 | 66,76 |
| 0,20 | RPG | 83,561 | 84,627 | 85,801 | 1,12 | 84,66 |
| | PMMA | 66,949 | 64,268 | 68,563 | 2,17 | 66,59 |
| 0,50 | RPG | 83,098 | 81,963 | 82,530 | 0,57 | 82,53 |
| | PMMA | 66,948 | 65,353 | 66,396 | 0,81 | 66,23 |